9.ULUSLARARASI

KARADENİZ

BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR VE İNOVASYON KONGRESİ

05-06 EYLÜL 2026

TRABZON

EDİTÖR:

Prof. Dr. Emre TANDIRLI

Assoc. Prof. Dr. Zulfiyya ISMAYIL

www.isarconference.org

KONGRE KİTABI

IKSAD Publishing House

INDEX

CONGRES ID		II-V
PROGRAM		VI-XXII
GALLERY		XXIII-XXVI
ACADEMIC INCENTIVE		XXVII
NOTIFICATIONS		XXXVIII-XXXIV

CONGRESS ID

CONGRESS TITLE

9th INTERNATIONAL KARADENİZ SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS

DATE AND PLACE

05-06, SEPTEMBER 2026 TRABZON PRESENTATIONS

ORGANIZATION

ISARC INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

CONGRE COORDINATOR

Beyza KUŞKIRAN

EDITOR

Prof. Dr. Emre TANDIRLI

ORGANIZING COMMITTEE

Prof. Dr. Mukadder MOLLAOĞLU
Prof. Dr. Neslihan ŞAHİN
Prof. Dr. Sancar BULUT
Prof. Dr. Serpil ÜNVER SARAYDIN
Prof. Dr. Tolga ULUSOY
Prof. Dr. Yadigar GÜLSEVEN SIDIR
Assoc. Prof. Dr. Deniz KARATAŞ
Assoc. Prof. Dr. Malik YILMAZ
Assoc. Prof. Dr. Melih OKCU
Assoc. Prof. Dr. Nursen IŞIK
Assoc. Prof. Dr. Özlem ÜLGER DANACI
Assoc. Prof. Dr. Sahure YARİŞ
Assoc. Prof. Dr. Seda BENGİ
Assoc. Prof. Dr. Sema SAĞLIK
Assoc. Prof. Dr. Şükrü KALAYCI
Assoc. Prof. Dr. Zamıg TEHMEZOV
Assoc. Prof. Dr. Zeynep Deniz ŞAHİN İNAN
Assoc. Prof. Dr. Zühal OKCU
Assoc. Prof. Dr. Zulfiyya ISMAYIL
Dr. Aziz İLGAZİ
Dr. Laleş USLU AZARAK
Dr. Mine KIRKYOL
Dr. Sevil ÖZCAN
Dr. Sümeyye GÖKÇENOĞLU
Dr. Şengül ŞENTÜRK
Dr. Rana BAYTİN ALACI

ISBN: '978-625-378-722-6'

KİTAP YAYIN TARİHİ: 17.09.2026

“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
Sïirt 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

9th INTERNATIONAL BLACK SEA SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS
05-06 SEPTEMBER 2026 TRABZON/TÜRKİYE

Congress Program

Participant Countries:

TÜRKİYE- AZERBAYCAN- ALBANIA - BANGLADESH - BELARUS - CHENNAI - GEORGIA - JORDAN - MALAYSIA - MOROCCO - NIGERIA – ROMANIA - PAKSITAN - SAUDI ARABIA – SRI LANKA-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: 841 7219 0261

PASSCODE: 715479

https://us06web.zoom.us/j/84172190261?pwd=NmqMHSpVFUWv9d7CihCvSarhlpPwEH.1

05.09.2026 / Hall-1, Session-1

ANKARA LOCAL TIME

10 00 : 12 15

MEETING ID: 841 7219 0261

PASSCODE: 715479

HEAD OF SESSION: **Prof. Dr. Evren ALGIN YAPAR**

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Biological Evaluation Of Cobalt And Zinc Phthalocyanines Containing Schiff Base And Chlorophenyl Groups	Ufuk YER Dr. Mesut NAMLI Dr. Ahmet İsmail ÖZKAN Lect.Deniz CANBOLAT GÜLTEKİN Assoc. Prof. Dr. Uğur IŞIK Assoc. Prof. Dr. Seda FANDAKLI	Atatürk University TÜRKİYE Artvin Coruh University TÜRKİYE Dicle University TÜRKİYE Artvin Coruh University TÜRKİYE
Generative Artificial Intelligence In Nursing: Hallucinations And Clinical Reliability	Lect.Fatma ÖZDER Lect.Burcu YEŞİLBAŞ	Kocaeli Health and Technology University TÜRKİYE
The Effects Of Surgical Smoke On Operating Room Staff And Patient Health, And Methods Of Protection	Lect.Burcu YEŞİLBAŞ Lect.Fatma ÖZDER	Kocaeli Health and Technology University TÜRKİYE
Dynamic Adaptive Ensemble Learning For Cancer Classification Across Heterogeneous Datasets	Assist.Prof.Dr.Erdinç KARAKULLUKÇU	Karadeniz Technical University TÜRKİYE
Evaluation Of Cardiometabolic And Inflammatory Comorbidity Patterns In Individuals Assessed For Osteoporosis	Mahmud Sami TANŞU Seher Berna KIRDÖK TANŞU	Etlik Şehir Hastanesi TÜRKİYE Ankara University TÜRKİYE
Oncocytic Papillary Cystadenoma Of The Larynx: A Rare Case	Ozge AYDIN	Giresun Training and Research Hospital TÜRKİYE
Preparation And Characterization Of Polyvinyl Alcohol/Hyaluronic Acid Hydrogels Containing Ylang-Ylang Essential Oil For Cosmetic Applications	Zeynep AYGÜN Sona BODAGHI Assist.Prof.Dr.İmren ESENTÜRK-GÜZEL Prof. Dr. Evren ALGIN YAPAR Res.Assist.Ebrar İNAL-KILIÇARSLAN Prof. Dr. Murat KARTAL	University of Health Sciences TÜRKİYE Sivas Cumhuriyet University TÜRKİYE Bezmialem Vakif University TÜRKİYE
Most Common Central Nervous System Diseases Among The Elderly, Old, And Long-Lived	G. G. Huseynova Veliyeva S.S.	Ministry of Science and Education Republic AZERBAIJAN

05.09.2026 / Hall-2, Session-1

ANKARA LOCAL TIME

10 00 : 12 00

MEETING ID: 841 7219 0261

PASSCODE: 715479

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Emre TANDIRLI

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Static Analysis Of Functionally Graded Vaults	Assist.Prof.Dr.Timuçin Alp ASLAN Hatice GÖK	Çukurova University TÜRKİYE
Evaluation Of Vision Transformer Attention Mechanisms On Nvidia Jetson Orin Nx (16 Gb) And Agx Orin (32 Gb)	Assist. Prof. Dr.Tolga TURAY	Ataturk University TÜRKİYE
Chelation-Controlled Hydrothermal Growth Of Sb 2 (S,Se) 3 Thin Films For Planar Photodetectors	Assist.Prof.Dr.Fulya TURKOGLU	Iskenderun Technical University TÜRKİYE
Polıcy Changes Or Fınancıal Realıtıes? An Analysıs Of The Structural Shıft In Educatıon Spendıng Prıorıtıes In Turkey (2011–2024)	Res. Assist. Dr. Ece ÖZGÖREN ÜNLÜ Assoc. Prof. Dr. Cengiz GAZELOĞLU	Suleyman Demirel University TÜRKİYE
An Intersectional Analysis Of Suicide Mortality Rates In Türkiye: A Trend Study Based On Age And Gender (2010-2024)	Res. Assist. Dr. Ece ÖZGÖREN ÜNLÜ Assoc. Prof. Dr. Cengiz GAZELOĞLU	Suleyman Demirel University TÜRKİYE
Generative Ai–Based False Judicial Decision Citations: Counsel's Duty Of Verification And Procedural Consequences In Civil Proceedings	Vedat ÇALIŞKAN	Erciyes University TÜRKİYE
Managerial Success In The Age Of Digital Transformation:Design Thinking And Artificial Intelligence Integration	Prof. Dr. Emre TANDIRLI	Bolu Abant İzzet Baysal University TÜRKİYE
From Quality Management To Intelligent Quality: The Transformative Role Of Artificial Intelligence In Quality And Innovation Management	Dr. Ömer ÖZKAN	SOCAR TÜRKİYE

05.09.2026 / Hall-3, Session-2

ANKARA LOCAL TIME

10 30 : 12 00

MEETING ID: 841 7219 0261

PASSCODE: 715479

HEAD OF SESSION: Dr. Nazmi Zarifi GÜRKAN

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
The Importance And Feasibility Of Long-Term Care Insurance For Türkiye: A Comparative Evaluation	Lect.Dr.Furkan ULUSAL	Ondokuz Mayıs University TÜRKİYE
Green Budgeting And Green Accounting: An Integrated Approach To Public Financial Management	Dr. Nazmi Zarifi GÜRKAN	Hazine ve Maliye Bakanlığı TÜRKİYE
The Effect Of Emotional Intelligence And Alexithymia Levels Among Healthcare Workers On The Occurrence Of Work-Related Accidents And Occupational Disease	Lect. Dr. Fatih Mehmet ATEŞ	Bayburt University TÜRKİYE
The Position Of Turkey's Agricultural Machinery And Technologies Sector In Eu Research And Innovation Programs: A Cordis-Based Analysis From Fp6 To Horizon Europe	Lect.Dr. Figen TAŞCI DURGUT	Tekirdağ Namık Kemal University TÜRKİYE

05.09.2026 / Hall-4, Session-2			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 841 7219 0261
	10 [30] : 12 [00]		PASSCODE: 715479

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Şükrü ÜLGÜN

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Prospective Mathematics Teachers' Skills In Structuring "Why" Questions	Hiranur AKSOY Halime KURT Assoc.Prof.Dr. Tuğçe KOZAKLI ÜLGER	Uludag University TÜRKİYE
A Systematic Review Of Studies On Ai-Supported Problem Solving In Mathematics Education	Hiranur AKSOY Prof. Dr. Gül KALELİ YILMAZ Assoc. Prof. Dr. Tuğçe KOZAKLI ÜLGER	Uludag University TÜRKİYE
Investigation Of Sixth-Grade Students' Interactions With Artificial Intelligence In The Process Of Solving Factors And Multiples Problems	Halime KURT Prof. Dr. Gül Kaleli YILMAZ	Uludag University TÜRKİYE
Ai Or Traditional Instruction? Exploring Pre-Service Elt Teachers' Pedagogical Preferences	Asst. Prof. Dr. Çiğdem GÜNEŞ	Giresun University TÜRKİYE
A Comparison Of The Contribution Of Storytelling And Activity-Based Teaching Methods To The Teaching Of The Topic Of Quadrilaterals In 7th Grade, Based On Students' Opinions	Fatma ERDEN Prof. Dr. Şükrü ÜLGÜN Assoc.Prof.Dr.Ali İbrahim Can GÖZÜM	Kafkas University TÜRKİYE
A Comparison Of The Contribution Of The Kirigami Technique And Activity-Based Teaching Method To The Teaching Of The 8th Grade Transformation Geometry Topic, Based On Student Opinions	Büşra KAY Prof.Dr.Şükrü İLGÜN Assoc.Prof.Dr.Ali İbrahim Can GÖZÜM	Kafkas University TÜRKİYE

05.09.2026 / Hall-5, Session-2

ANKARA LOCAL TIME	MEETING ID: 841 7219 0261
$10^{30} : 11^{45}$	PASSCODE: 715479

HEAD OF SESSION: Assist.Prof.Dr.Hurigül EKEN

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Oral History In The 2026 Social Studies Program	Prof. Dr.İlker DERE Res. Assist. Ceren HATİPOĞLU	Tekirdağ Namık Kemal University TÜRKİYE Ordu University TÜRKİYE
Oral History In The 2026 High School History Curricula	Prof. Dr.İlker DERE Res. Assist. Ceren HATİPOĞLU	Tekirdağ Namık Kemal University TÜRKİYE Ordu University TÜRKİYE
A Glimpse Into The Medieval History Of Şavşat: Ustamis Fortress And Its Strategic Importance	Assist.Prof.Dr.Abdurrahman SEÇKİN	Kafkas University TÜRKİYE
Social Exclusion And Lived Experiences Of Older Adults In Digital Health Interfaces	Assist.Prof.Dr.Hurigül EKEN	Selçuk University TÜRKİYE
Examination Of Antisocial Behavior Among Mental Health Professionals In Terms Of Demographic And Psychosocial Variables	Ömer YILMAZ	Istanbul Arel University TÜRKİYE

05.09.2026 / Hall-6, Session-3

ANKARA LOCAL TIME

11 [00] : 12 [15]

MEETING ID: 841 7219 0261

PASSCODE: 715479

HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr. Osman ALTAY

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Tourism Attraction Potential And Financing Architecture In The Eastern Black Sea Provinces: An Exploratory Province-Level Index And Sustainable Incentive Design	Assist. Prof. Dr. Osman ALTAY	Istanbul Ticaret University TÜRKİYE
Rural Tourısm Demand In Türkiye: Trends In Farm, Vıllage And Mountaın House Accommodatıon	Res. Assist. Dr.Tuğçe KAYA	Çukurova University TÜRKİYE
An Evaluatıon Of The Prıncıple Of Impartıalıty And Objectıvıty Recommended By The Councıl Of Europe To The Admınıstratıon İn The Context Of Human Rıghts	Assist.Prof.Dr.Burak KAYA	Giresun University TÜRKİYE
The Vısual And Dıscursıve Constructıon Of The Body In Obesıty News: An Analysıs Of Onlıne News Artıcles	Assist.Prof.Dr.Faruk AŞLAKCI Cansel BADEMLİK	Karabuk University TÜRKİYE
An Evaluation Of Ai-Assisted News Production Under Turkish Constitutional Law: Freedom Of The Press, Misinformation, And Personal Rights	Assist. Prof. Dr.Faruk AŞLAKCI Lect. Necmiye MAZLUM	Karabuk University TÜRKİYE

05.09.2026 / Hall-7, Session-3

ANKARA LOCAL TIME

11 00 : 13 00

MEETING ID: 841 7219 0261

PASSCODE: 715479

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Kamile ERCİYAS

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
The Effect Of Coronal Restoration Integrity On Long-Term Periapical Healing In Endodontically Treated Permanent Molars: A Four-Year Case Report	Lect. İrem OKUMUŞ	Recep Tayyip Erdogan University TÜRKİYE
Multidisciplinary Management Of Regenerative Endodontic Treatment Intracoronal Bleaching, And Orthodontic Treatment In Traumatized Permanent Incisor Teeth	Lect. İrem OKUMUŞ	Recep Tayyip Erdogan University TÜRKİYE
Soft Tissue Management With Free Gingival Graft In Peri-Implant Keratinized Mucosa Deficiency: A Case Report	Uzm. Dt. Züleyha PAMUK Prof. Dr. Kamile ERCİYAS	Gaziantep University TÜRKİYE
Mandibular Reconstruction With Iliac Bone Graft And Dental Implant Placement In A 35-Year-Old Patient: A Case Report	Asst. Prof. Dr. Ahmet Can HASKAN Res. Assist.Çağdaş ARSLAN	Hatay Mustafa Kemal University TÜRKİYE
Mechanical Properties Of Directly Printed Clear Aligners: The Role Of 3d Printer Type, Resin Material, Thickness, And Geometry	Res. Assist. Burak KÖSE Uzm. Dt. Sümeyye YILMAZ Assist.Prof.Dr.Gökçe KEÇECİ Prof. Dr. Nermin DEMİRKOL Assist.Prof.Dr.İrem KARAGÖZOĞLU	Gaziantep University TÜRKİYE
Artificial Intelligence–Based Detection Of Periapical Lesions In Teeth With Fixed Prostheses: Current Applications And Diagnostic Challenges	Res. Assist. Burak KÖSE Uzm. Dt. Sümeyye YILMAZ Assist.Prof.Dr.Gökçe KEÇECİ Prof. Dr. Nermin DEMİRKOL Assist.Prof.Dr.İrem KARAGÖZOĞLU	Gaziantep University TÜRKİYE
Effect Of Hot Compress With Black Cumin Oil And Ginger Oil On Pain, Stiffness, Physical Function And Comfort In Individuals With Knee Osteoarthritis: A Randomized Controlled Trial	Prof. Dr. Sevgin SAMANCIOĞLU BAĞLAMA Assist.Prof.Dr.Ercan BAKIR	Muğla Sıtkı Koçman University TÜRKİYE Adıyaman ÜUniversity TÜRKİYE
The Effects Of Emotional Literacy On Compassion Levels And Compassion Fatigue Among Intensive Care Nurses: A Cross- Sectional Study From Türkiye	Assist.Prof.Dr.Ercan BAKIR Prof. Dr. Sevgin SAMANCIOĞLU BAĞLAMA	Muğla Sıtkı Koçman University TÜRKİYE Adıyaman ÜUniversity TÜRKİYE

05.09.2026 / Hall-8, Session-3

ANKARA LOCAL TIME

11 00 : 12 00

MEETING ID: 841 7219 0261

PASSCODE: 715479

HEAD OF SESSION: Asst. Prof. Şeyma KANARA

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Reading The Cultural Landscape Through Place Names: A Micro-Toponymic Analysis Of Three Villages Around Safranbolu	Assist. Prof. Dr. Emre KARATAŞ Assist. Prof. Dr. Muhammet Ali HEYİK	Karabük University TÜRKİYE Yıldız Technical University TÜRKİYE
Dıgıtal Documentatıon In Archaeologıcal Sıtes: An Examınatıon Of Italıan Case Studıes And Recommendatıons	Şule DOĞRAMACI Assist.Prof.Dr.Mine TOPÇUBAŞI	Gebze Technical University TÜRKİYE
The Sustainability And Innovation In Technical Textiles	Asst. Prof. Şeyma KANARA Prof. Dr. Suat ÇETİNER	Kahramanmaraş Sütçü İmam University TÜRKİYE
Reflections Of Biomimetic Approaches In Textile Design	Asst. Prof. Şeyma KANARA Assoc. Prof. Dr Mustafa Oğuz GÖK	Kahramanmaraş Sütçü İmam University TÜRKİYE

05.09.2026 / Hall-9, Session-3

ANKARA LOCAL TIME

11 [00] : 13 [45]

MEETING ID: 841 7219 0261

PASSCODE: 715479

HEAD OF SESSION: Assist.Prof.Dr.Kurban KOTAN

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Evaluating Cyclical Hybrid Imputation For Multivariate Financial Time Series Under Controlled Missingness	Assist.Prof.Dr.Kurban KOTAN	Manisa Celal Bayar University TÜKİYE
Morphological Discrimination In Freshwater Mussels (Unio Spp.): An Approach Usingi Shape Indices And Geometric Morphometrics	Assoc. Prof. Dr. Şebnem ATASARAL Berna Nur ŞİMŞEK Cerennaz TOĞUÇ	Karadeniz Technical University TÜRKİYE
Determination Of Activity Concentrations Of Natural And Artificial Radionuclides In Soil Samples Collected Around Some Children's Playgrounds In Rize Province	Assoc. Prof. Dr. Nilay AKÇAY Assoc. Prof. Dr. Erkan KIRIŞ	Recep Tayyip Erdoğan University TÜRKİYE
Determination Of Activity Concentrations Of Natural And Artificial Radionuclides In Maize Flours Consumed In Türkiye	Assoc. Prof. Dr. Nilay AKÇAY Assoc. Prof. Dr. Erkan KIRIŞ	Recep Tayyip Erdoğan University TÜRKİYE
Expert Witness Practices In Turkey	Ramazan AYDIN	Karabuk University TÜRKİYE
The Effect Of Different Brewing Methods On The Antioxidant Capacity And Phenolic Profile Of Spent Coffee Grounds	Tuba ÇİFTCİ Assoc.Prof.Dr. Nurhan USLU Prof. Dr. Mehmet Musa ÖZCAN	Konsüt Gıda A.Ş TÜRKİYE Selçuk University TÜRKİYE
Determination Of Terrestrial Mammal Fauna In Keles District Of Bursa Province Using The Camera Trap Method	Burhan GÜL Olcay IŞIK Ahmet Furkan İMAMOĞLU	Trakya University TÜRKİYE Bursa Technical University TÜRKİYE

05.09.2026 / Hall-10, Session-4

ANKARA LOCAL TIME

11 30 : 13 30

MEETING ID: 841 7219 0261

PASSCODE: 715479

HEAD OF SESSION: Dr.R.Devi

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Scientific Talks On Epilepsy: Integrative Scientific Insights Into Neuroimmunological Pathogenesis, Molecular Mechanisms,Diagnostic Complexity, Therapeutic Pharmacology, Adverse Drug Outcomes, Precision Medicine, And Emerging Global Strategies Forpersonalized Care	Nodar Sulashvili , Margarita Beglaryan , Maka Buleishvili , Mariam Darbaidze, Nana Gorgaslidze , Lasha Tchelidze , Magda Davitashvili , Ada (Adel) Tadevosyan,Maia Jikia , Vira Kravchenko , Marika Sulashvili , Lela Grigolia ,Kakhaber Robakidze, Igor Seniuk , Marina Giorgobiani, Teimuraz Enukidze , Mariam Jikidze , David Aphkhazava	Sulkhan-Saba Orbeliani University GEORGIA
The Scientific Discourse On Translational Epigenetics, Oncogenetics, Precision Medicine, Translational Medicine, Pharmacology, Pharmacovigilance, Clinical Pharmacology, Pharmacotherapy And Evidence-Based Medicine: Integrating Molecular Insights Into Personalized Cancer Prevention Diagnosis And Therapeutic Care	Nodar Sulashvili, Margarita Beglaryan , Maka Buleishvili , Mariam Darbaidze ,Nana Gorgaslidze, Lasha Tchelidze , Magda Davitashvili , Ada (Adel) Tadevosyan ,Maia Jikia , Vira Kravchenko, Marika Sulashvili, Lela Grigolia,Kakhaber Robakidze , Igor Seniuk , Marina Giorgobiani , Teimuraz Enukidze, Mariam Jikidze , David Aphkhazava	Sulkhan-Saba Orbeliani University GEORGIA
Ai-Enabled Predictive Analytics For Proactive Student Success And Retention Management	Oluwakemi Racheal OSHINOWO Moses Adeolu AGOI Adebayo Samuel ADEOGUN Christiana Toyin ODUWOLE	Lagos State University NIGERIA
Overview Of Wordpress Content Management System Applications In Tourism: Theory And Practice	Dr. Nguyen Thi Be Ba Nguyen Huynh Kieu Anh Nguyen Nhut Nam Dr. Thai Cong Dan	Can Tho University VIETNAM
Combating Retrospective Entry Fraud In Student Industrial Training Logbooks Using Server-Side Timestamping	Idris Memunat Iyetunde Akanbi, Bello Muhammed PhD	University of Abuja NIGERIA
Enhancing General Security And Minimizing Proxy Through RFID Embedded ID Card İn The University Of Abuja	EKENE ERIC NNAEMEKA AKANBI BELLO MUHAMMED PhD	University of Abuja NIGERIA
Machine Learning-Based Network Intrusion Detection Systems: A Comprehensive Survey And Comparative Analysis	VINAYAKALAKSHMI T	Student of Computer Science and Engineering CHENNAI
Ginger-Derived Exosome-Like Nanoparticles As Oral Delivery Vehicles For Curcumin In Inflammatory Bowel Disease: A &Quot;Food-To-Medicine&Quot;Nanotherapeutic Approach	Dr.R.Devi	Bharath Institute of Higher Education and Research INDIA

05.09.2026 / Hall-11, Session-4			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 841 7219 0261
	11 30 : 13 30		PASSCODE: 715479

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. M. Asad Ghufran

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Towards Establishing A Natural History Museum In Wadi Zarqa	Mohammed Waheeb Amal Kamal Kanani Amani Kamal Kanani Faisal Hussein	The Hashemite University JORDAN
Fuzzy Uncertainty Propagation And Finite-Time Tangent Dynamics In A -Caputo Lorenz System	Mohamed OUALD-MOUNTI Aziz EL GHAZOUANI Hamid SADIKI	Sultan Moulay Slimane University MOROCCO
Fabrication Of Graphitic Carbon Nitride-Decorated Baal 2 O 4 Nanocomposite For High-Performance Asymmetric Supercapacitor	Muhammad Rizwan Sahar G. Tawfik Ali El-Rayyes Lamia Abu El Maati Hussain Sawwan Eman Alzahrani Hala M. Abo-Dief Reda A. Haggam	Princess Nourah bint Abdulrahman University SAUDI ARABIA Northern Border University SAUDI ARABIA King Khalid University SAUDI ARABIA Taif University SAUDI ARABIA Islamic University SAUDI ARABIA
Production And Characterization Of Carbon Nanotubes From Biochar Under Microwave Irradiation.	Faisal Nazir	DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCES, THE UNIVERSITY OF AGRICULTURE, FAISALABAD, PAKISTAN
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
Rational Design, Green Synthesis, And Integrated Computational–Experimental Evaluation Of Novel 1,2,3-Triazole-Based Hybrid Molecules Against Drug-Resistant Microbial Pathogens	Ummy Rubab Muhammad Ibrahim Irfa sakandar	Government College University PAKISTAN
Beyond The Hospital: Exposing The Missing Architectural Voice In Healthcare Facility Regulations Of Khyber Pakhtunkhwa,Pakistan	Ar. Rida Zahra Prof. Dr. Fariha Tariq Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti Dr. Ali Arsal Prof. Dr. M. Asad Ghufran	School of Architecture & Planning, UMT PAKISTAN
Screening Of Operating Parameters Affecting Cadmium Removal From Concentrated Phosphoric Acid By Co-Crystallization With Phosphogypsum	Taoufiq MAHLOUB Khaoula KHALESS	Mohammed VI Polytechnic University MOROCCO

05.09.2026 / Hall-12, Session-4			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 841 7219 0261
	11 30 : 13 30		PASSCODE: 715479

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Muhammad Asad Ghufran

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Circulating Exosomal Mirnas As Biomarkers For Subclinical Inflammation Seronegative Rheumatoid Arthritis	Muhammad Amar Gul	University of Gujrat PAKISTAN
The Impact Of Lecture Transcription And Search Systems On Academic Information Retrieval In Tertiary Institutions.	Alozie Victoria Chika Akanbi,Bello Muhammed PhD	University of Abuja NIGERIA
The Impact Of Physical Activity On Depression Levels Among Students At Da Nang University Of Medical Technology And Pharmacy, Vietnam	MA. Pham Tien Dung	Da Nang University VIETNAM
Microbial Prodigiosin As A Sustainable Bio-Colorant: Green Extraction, Process Optimization And Development Of Functional Biomordanted Fabrics	Muhammad Asim Nawaz Mahwish Salman Shahid Adeel	Government College University PAKISTAN
Synthesis And Biological Assessment Of Functionalized Coumarin-3- Carboxamide Derivatives	Ummy Rubab Muhammad Ibrahim	Government College University PAKISTAN
Synthesis, Characterization, And Structural Investigation Of Indole-3-Butyric Acid-Derived Hydrazones: Integrated Spectroscopic, Biological, And Dft Insights Into Structure–Activity Relationships	Ummy Rubab Muhammad Ibrahim Irfa Sakandar	Government College University PAKISTAN
The Spatial Dynamics Of Social Capital: A Systematic Literature Review On Urban Form, Neighbourhood Design, And Community Cohesion	Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti Ar. Dr. Zulfiqar Ali Tariq Prof. Dr. Muhammad Asad Ghufran	Architecture, School of Architecture&Planning PAKISTAN
Climate-Resilient Solutions: The Anticipated Role Of Reed Bed Technology In Transforming Rural Hygiene And Waste Treatment In Pakistan.	Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti Muzaffar Aziz Iqbal Prof. Dr. Muhammad Asad Ghufran Ar. Fahad Khan	Architecture, School of Architecture&Planning PAKISTAN
A Hybrid $Cdmn_2O_4$/Pani Composite Electrocatalyst For Enhanced Oxygen Evolution Reaction	Aqsa Farooq	Ghazi University PAKISTAN
Iot-Wsn Systems And Virtual Sensors Modern Methods For Measuring Water Quality Indicators	Ketevan Gordeziani Lasha Kavelashvili	Georgian Technical University GEORGIA

05.09.2026 / Hall-13, Session-4			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 841 7219 0261
	11 30 : 13 30		PASSCODE: 715479

HEAD OF SESSION: Elton Skendaj

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Features Of Renal And Lumbar Hemodynamics During Muscle Contraction And After Coffee Intake In Students	Ruslan SHEVERDIN Victor KAZAKEVICH	Belarusian State University BELARUS
The Impact Of Erasmus+ KA171 Mobility On Cultural Skills And Adaptiveness Of Albanian Students	Elton Skendaj	Mediterranean University ALBANIA
Guidance And Counselling In The Era Of Artificial Intelligence: Implications For Counselling Training Institutions In Nigeria	BASHIRU MUHAMMAD LIMAN, Ph.D RUKAYYA MALAMI UMAR	Shehu Shagari University NIGERIA
The Role Of Physical Education Learning Motivation In Predicting Mental Health Among Students At The University Of Danang, Vietnam	MA. Ha Thi Han MA. Cao Duc Anh	The University of Danang VIETNAM
Generative Ai Literacy Among Integrated Science Teachers: Competencies, Challenges And Professional Development Needs	Moses Adeolu AGOI Olawale Adejumo OSUNLOYE Olajuwon Victor OLAYINKA Oluwanifemi Opeyemi AGOI	Obafemi Awolowo University NIGERIA
Analysis And Design Of Nico 2 O 4 /G-Cn Electrocatalys Via Hydrothermal Route Towards Enhanced Oerperformance.	Dilawar Hussain	Ghazi University PAKISTAN
Education And The Influence Of Artificial Intelligence: Between Innovation And Human Development	Roxana Moisoiu	Prof.Colegiul German “GOETHE” Bucureşti ROMANIA
A Bayesian Hierarchical Framework Incorporating Meta-Analytic Priors For Malaria Prevalence Estimation In Data-Limited Settings	Dongnaan G.A Nwankwo C. K.	University of Abuja NIGERIA

05.09.2026 / Hall-14, Session-5			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 841 7219 0261
	12 ^{00} : 14 ^{00}		PASSCODE: 715479

HEAD OF SESSION: Prof. KAID SLIMANE Hynd

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Influence Of Artificial Intelligence Utilisation On Entrepreneurial Skill Development Among Business Education Students In Colleges Of Education In Ogun State Nigeria	KUYEBI, Abiodun David OLORODE Jide John SALAMI, Rofiat Olayinka (PhD)	Federal College of Education Abeokuta NIGERIA
The Impact Of AI On Finance, Economy And Development: Balancing Technological Advancements With Ethical, Employment And Operational Challenges.	Shahriar Hasan Mridha Ratul Laila Arzumand Banu Md Eamin Mia Sabya Sachi Chanda Antor Piyas Ranjan Biswas Foysal Khan Sharmin Akter K. M. Shakik Ahmed Walid	Southeast University BANGLADESH Saga University BANGLADESH Comilla University BANGLADESH Dhaka University BANGLADESH University of Asia Pacific BANGLADESH
Pluricentric Approaches To Teaching English Pronunciation Among Online Community Teachers In Nigeria.	Isiakpere, Sunshine Harriet	School of Graduate Studies University NIGERIA
Green Chemistry For A Sustainable Future: Pollution Prevention, Renewable Resources, And Healthier Environments	MOHAMMED, U.M. (PhD) SULEIMAN, F. (PhD)	Federal University NIGERIA
Negotiating Monolingualism And Multilingualism In The Age Of AI: Code-Switching In Human–Chatgpt Interactions	Ms. SELKA Meryem Prof. KAID SLIMANE Hynd	Tlemcen University ALGERIA
A European Perspective On The Management Of The Retinopathy Of Prematurity: Albanian Data	Eglantina Bulica Admir Sinamati Alketa Tandili Gentian Vyshka	University of Medicine in Tirana ALBANIA
A Comprehensive Numerical Investigation Of Hybrid Quasi-Newton Conjugate Gradient Methods: The Superiority Of SR1-DFP Hybridization	A. Adams C.Y. Ishola U. Y. Abubakar M. M. Maitala A. Rabiu	National Open University NIGERIA
Parameter Space Characterization Of Cross-Diffusion-Induced Pattern Formation	H. S. Ndakwo K. H. Oduwole M.A. Umar	Nasarawa State University NIGERIA

05.09.2026 / Hall-15, Session-5			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 841 7219 0261
	12 00 : 14 00		PASSCODE: 715479

HEAD OF SESSION: Ejomarie Ewomazino Kezi

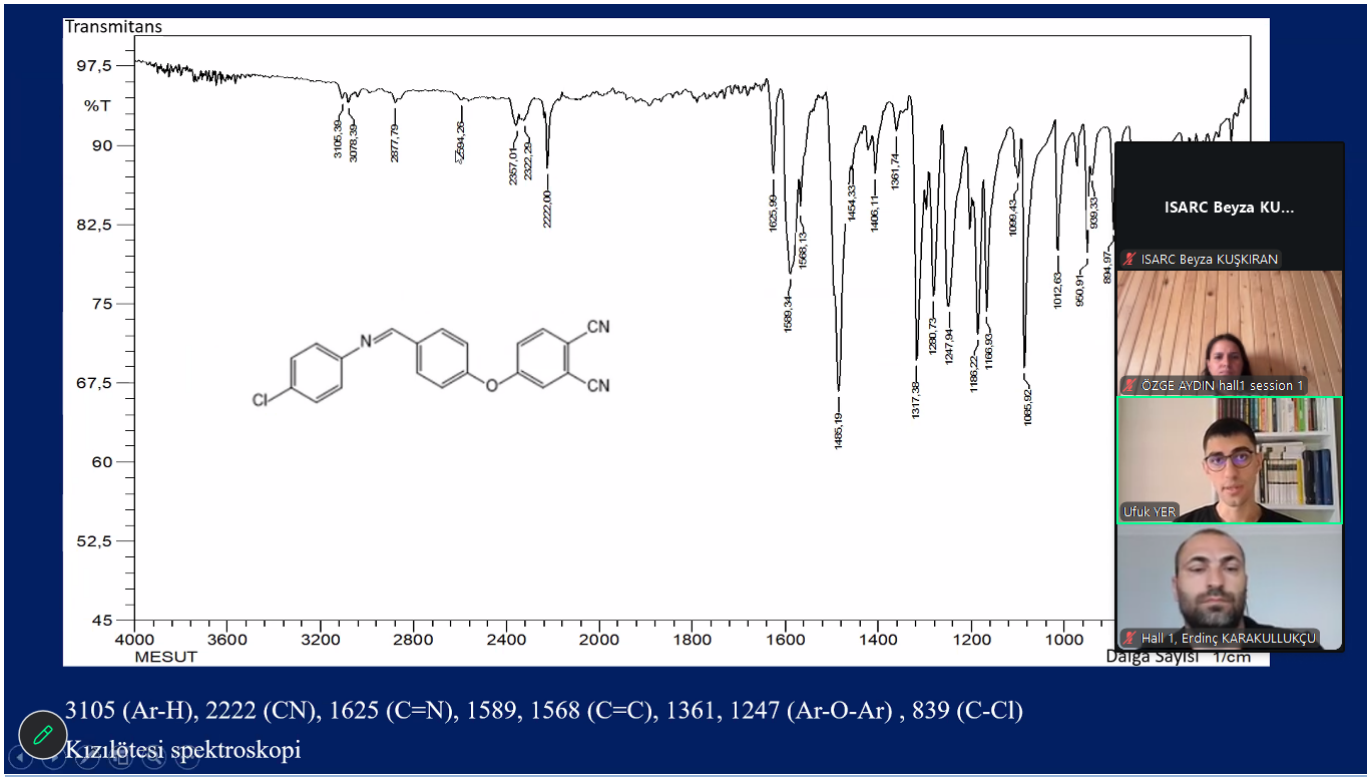
TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Can Negative Cross-Diffusion Trigger Instability? Pattern Formation In Two-Species Reaction–Diffusion Systems	H. S. Ndakwo K. H. Oduwole M.A. Umar	Nasarawa State University NIGERIA
Antidiabetic, Antioxidant And Tissue Protective Effects Of Alumina, Iron-Alumina Composite And Silica-Chitosan Hybrid Nanoparticles In Alloxan-Induced Diabetes In Rabbits	Hadia Tabbasum Shazia Perveen Sumaira Kanwal	The Women University PAKISTAN COMSATS University PAKISTAN
Semantic Change And Cultural Conceptualization Of Words Added To The Cambridge English Dictionary In 2025.	Ejomarie Ewomazino Kezi	(B.A, UNIPORT, M.A, IAUE)
From Charge Separation To Pesticide Mineralization: Critical Advances In Nanoscale S-Scheme Heterojunction Photocatalysts	Usman Umaru ALIMI Taofeek Musa Bunu Ismaila	Federal University NIGERIA
Development Of An AI-Driven Smart Housing Affordability Index For Sustainable Urban Housing Markets	Jamilu Shehu Sani Inusa Milala Deborah Garba Shuaibu H. Manga	Abubakar Tafawa Balewa University NIGERIA Universiti Tun Hussein Onn MALAYSIA
Climate-Resilient Real Estate: Development Of A Climate Risk Index For Sustainable Property Investment	Jamilu Shehu Sani Inusa Milala Deborah Garba Shuaibu H. Manga	Abubakar Tafawa Balewa University NIGERIA Universiti Tun Hussein Onn MALAYSIA
Influence Of Artificial Intelligence Utilisation On Entrepreneurial Skill Development Among Business Education Students In Colleges Of Education In Ogun State Nigeria	KUYEBI, Abiodun David OLORODE Jide John (Ph.D) SALAMI, Rofiat Olayinka (Ph.D)	Federal College of Education Abeokuta NIGERIA
Glycemic And Renal Profiles Associated With SGLT2 Inhibitor Therapy In Algerian Patients With Metabolic Syndrome	MOSTEFAOUI Leila HADJARI Mohammed Khaladi Hadj Mostafa	University of MustaphaStambouli ALGERIA

05.09.2026 / Hall-16, Session-5			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 841 7219 0261
	12 00 : 14 00		PASSCODE: 715479

HEAD OF SESSION: Ejomarie Ewomazino Kezi

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Can Negative Cross-Diffusion Trigger Instability? Pattern Formation In Two-Species Reaction–Diffusion Systems	H. S. Ndakwo K. H. Oduwole M.A. Umar	Nasarawa State University NIGERIA
Antidiabetic, Antioxidant And Tissue Protective Effects Of Alumina, Iron-Alumina Composite And Silica-Chitosan Hybrid Nanoparticles In Alloxan-Induced Diabetes In Rabbits	Hadia Tabbasum Shazia Perveen Sumaira Kanwal	The Women University PAKISTAN COMSATS University PAKISTAN
Semantic Change And Cultural Conceptualization Of Words Added To The Cambridge English Dictionary In 2025.	Ejomarie Ewomazino Kezi	(B.A, UNIPORT, M.A, IAUE)
From Charge Separation To Pesticide Mineralization: Critical Advances In Nanoscale S-Scheme Heterojunction Photocatalysts	Usman Umaru ALIMI Taofeek Musa Bunu Ismaila	Federal University NIGERIA
Development Of An AI-Driven Smart Housing Affordability Index For Sustainable Urban Housing Markets	Jamilu Shehu Sani Inusa Milala Deborah Garba Shuaibu H. Manga	Abubakar Tafawa Balewa University NIGERIA Universiti Tun Hussein Onn MALAYSIA
Climate-Resilient Real Estate: Development Of A Climate Risk Index For Sustainable Property Investment	Jamilu Shehu Sani Inusa Milala Deborah Garba Shuaibu H. Manga	Abubakar Tafawa Balewa University NIGERIA Universiti Tun Hussein Onn MALAYSIA
Influence Of Artificial Intelligence Utilisation On Entrepreneurial Skill Development Among Business Education Students In Colleges Of Education In Ogun State Nigeria	KUYEBI, Abiodun David OLORODE Jide John (Ph.D) SALAMI, Rofiat Olayinka (Ph.D)	Federal College of Education Abeokuta NIGERIA
Glycemic And Renal Profiles Associated With SGLT2 Inhibitor Therapy In Algerian Patients With Metabolic Syndrome	MOSTEFAOUI Leila HADJARI Mohammed Khaladi Hadj Mostafa	University of MustaphaStambouli ALGERIA

PHOTO GALLERY



3105 (Ar-H), 2222 (CN), 1625 (C=N), 1589, 1568 (C=C), 1361, 1247 (Ar-O-Ar) , 839 (C-Cl)

Kızılötesi spektroskopi

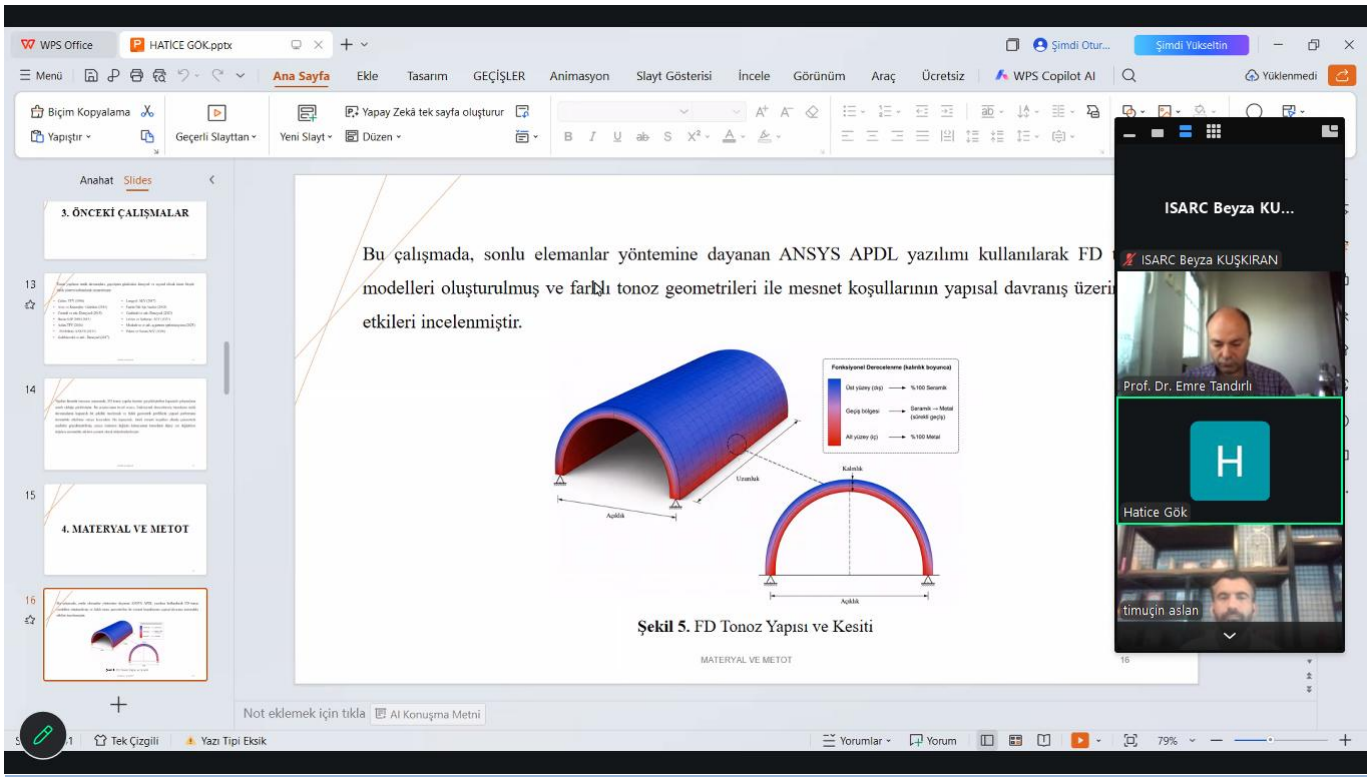
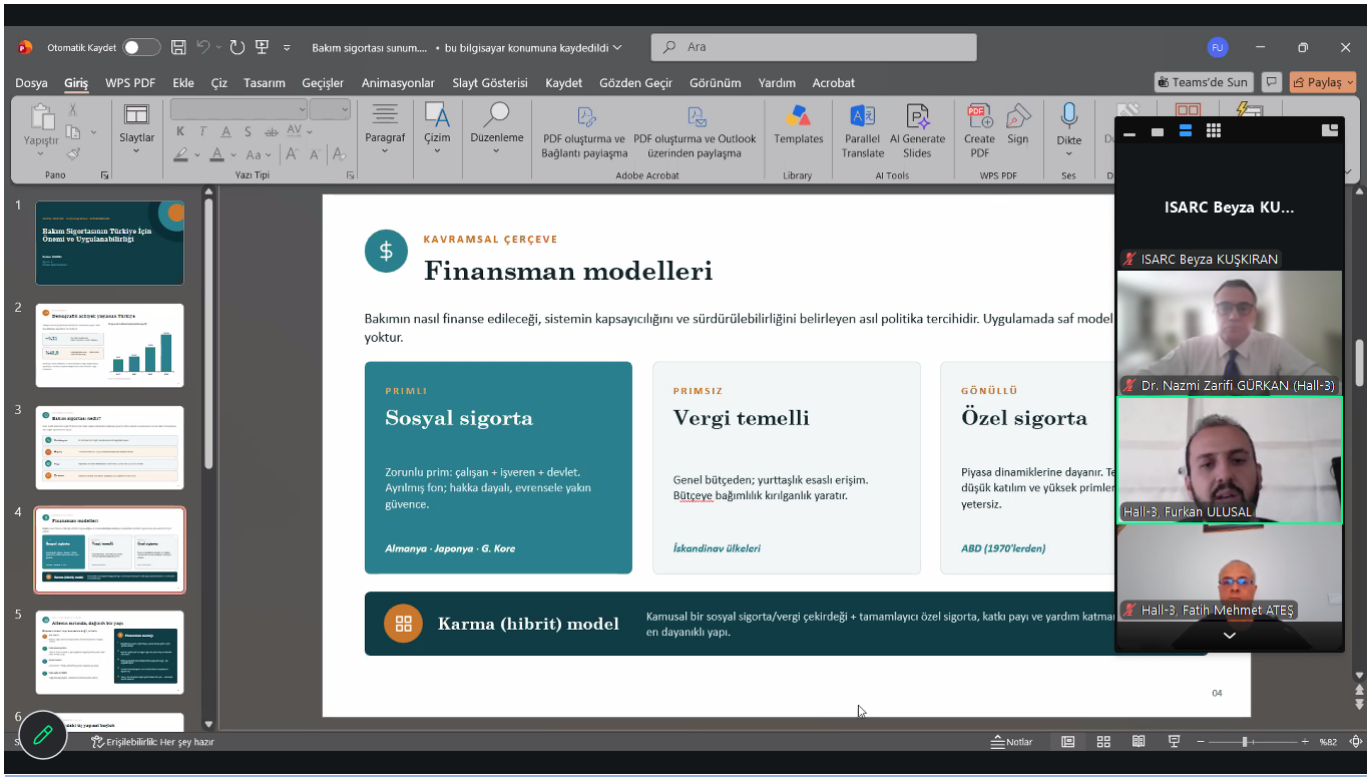


PHOTO GALLERY



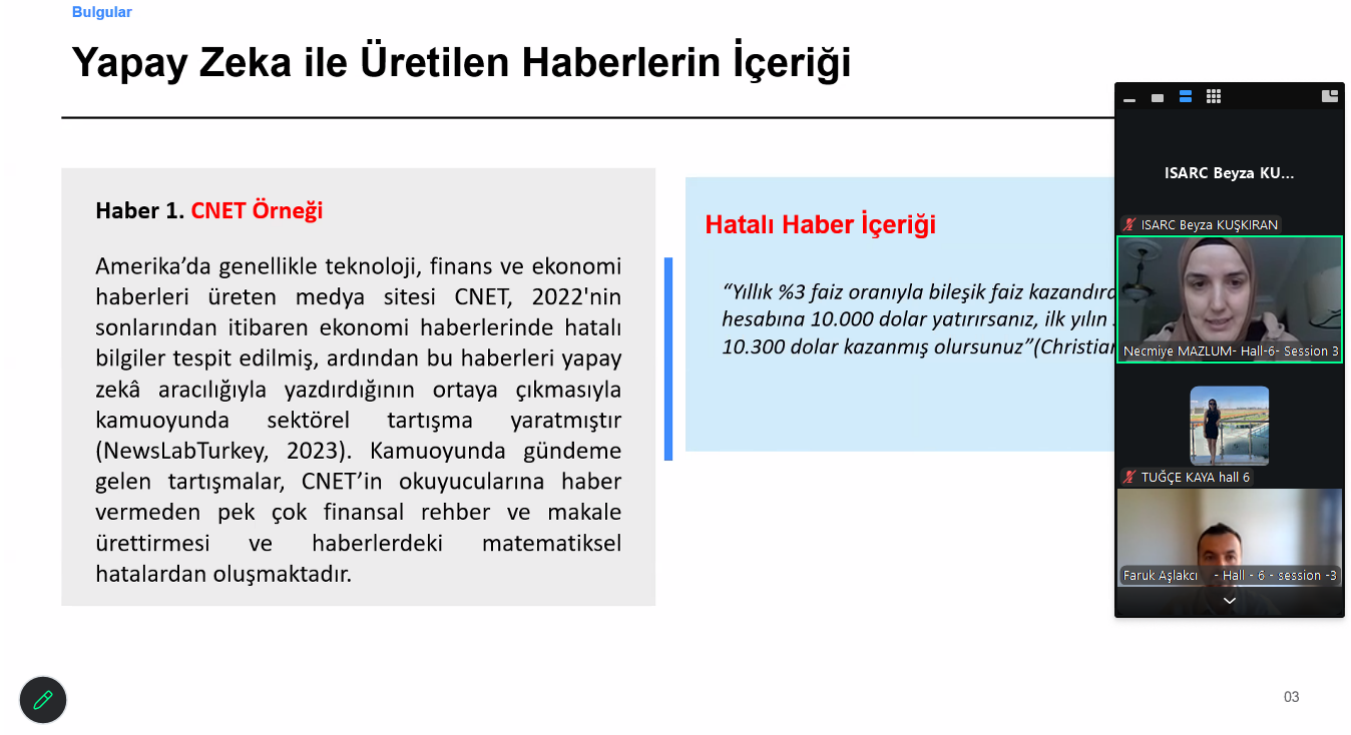
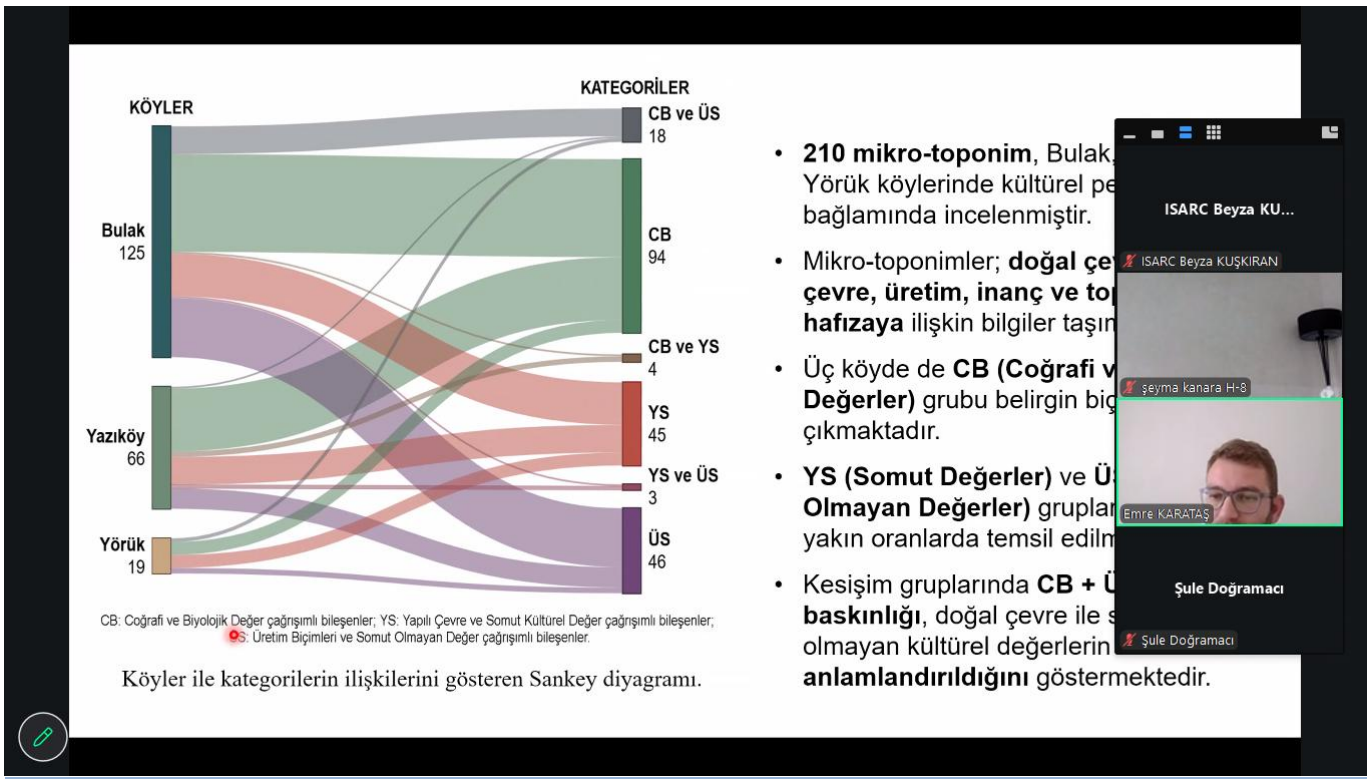


PHOTO GALLERY

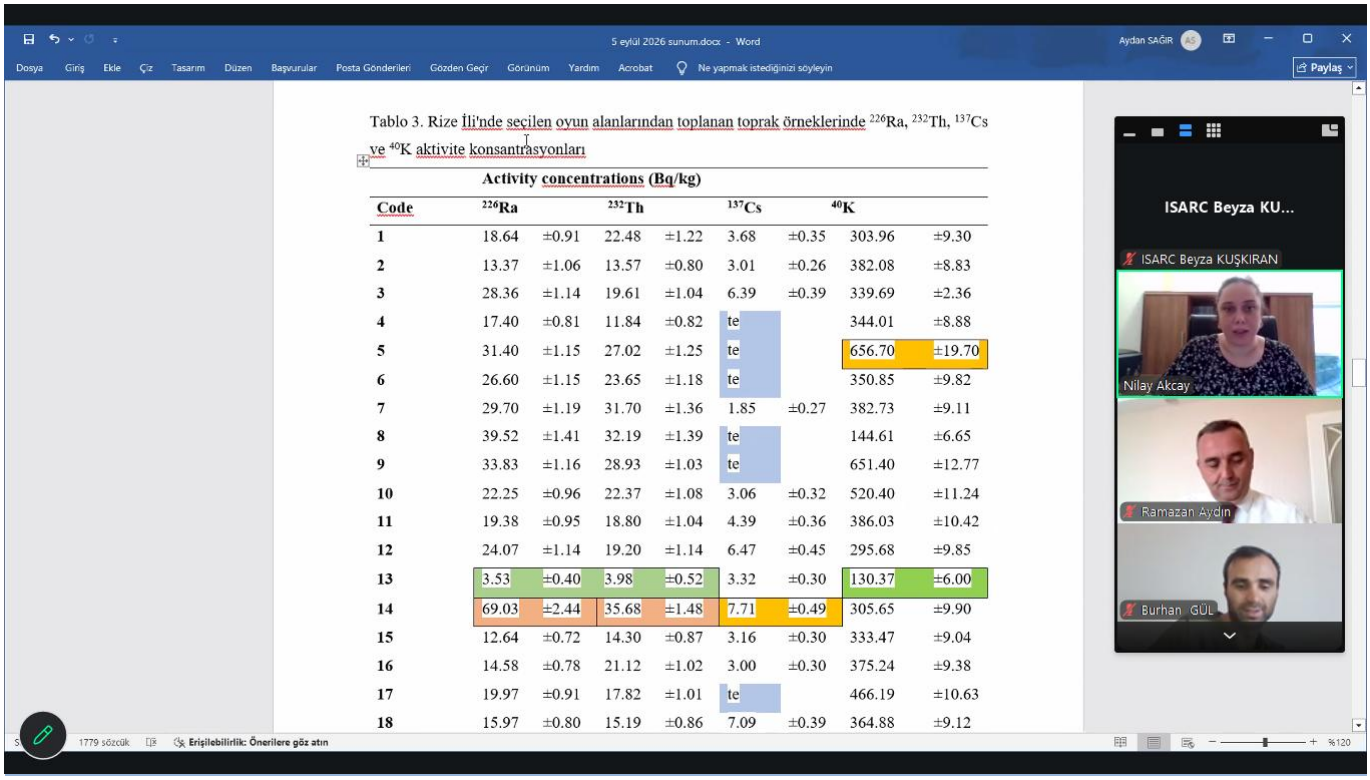
Şekil 1. Dördüncü yıl kontrol radyografisi. #36 numaralı dişte koronal restorasyon birlikte periapikal radyolüsensi izlenirken, #46 numaralı dişte koronal restorasyon bütünlüğünün korunduğu ve periapikal dokuların radyografik olarak sağlıklı görü olduğu izlenmektedir.

Ancak hasta sonraki randevularına devam etmediğinden, 36 numaralı diş için planlanan paslanmaz çelik kron (PÇK) uygulanamadı.



Köyler ile kategorilerin ilişkilerini gösteren Sankey diyagramı.

PHOTO GALLERY



Tablo 3. Rize İli'nde seçilen oyun alanlarından toplanan toprak örneklerinde ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{137}Cs ve ^{40}K aktivite konsantrasyonları

	Activity concentrations (Bq/kg)							
Code	^{226}Ra		^{232}Th		^{137}Cs		^{40}K	
1	18.64	±0.91	22.48	±1.22	3.68	±0.35	303.96	±9.30
2	13.37	±1.06	13.57	±0.80	3.01	±0.26	382.08	±8.83
3	28.36	±1.14	19.61	±1.04	6.39	±0.39	339.69	±2.36
4	17.40	±0.81	11.84	±0.82	te		344.01	±8.88
5	31.40	±1.15	27.02	±1.25	te		656.70	±19.70
6	26.60	±1.15	23.65	±1.18	te		350.85	±9.82
7	29.70	±1.19	31.70	±1.36	1.85	±0.27	382.73	±9.11
8	39.52	±1.41	32.19	±1.39	te		144.61	±6.65
9	33.83	±1.16	28.93	±1.03	te		651.40	±12.77
10	22.25	±0.96	22.37	±1.08	3.06	±0.32	520.40	±11.24
11	19.38	±0.95	18.80	±1.04	4.39	±0.36	386.03	±10.42
12	24.07	±1.14	19.20	±1.14	6.47	±0.45	295.68	±9.85
13	3.53	±0.40	3.98	±0.52	3.32	±0.30	130.37	±6.00
14	69.03	±2.44	35.68	±1.48	7.71	±0.49	305.65	±9.90
15	12.64	±0.72	14.30	±0.87	3.16	±0.30	333.47	±9.04
16	14.58	±0.78	21.12	±1.02	3.00	±0.30	375.24	±9.38
17	19.97	±0.91	17.82	±1.01	te		466.19	±10.63
18	15.97	±0.80	15.19	±0.86	7.09	±0.39	364.88	±9.12

bölgelerde oyun parklarının kurulmasına ve artırılmasına yönelik faaliyetlere önem vermektedir. Özellikle bu parklar çocukların çevreleriyle doğrudan etkileşim kurdukları ve zamanlarının önemli bir kısmını geçirdikleri açık alanlardır.

INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

KONU:KONGRE KATILIMCI BİLGİSİ **17.09.2026**

İLGİLİ MAKAMA

9. ULUSLARARASI KARADENİZ BİLİMSELARAŞTIRMALAR VE İNOVASYON KONGRESİ 05-06 EYLÜL 2026 tarihleri arasında TRABZON'da ve online olarak 15 farklı ülkeden (Türkiye:54 ve diğer Ülkeler:59; Toplam:113 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
Emre TANDIRLI	MANAGERICAL SUCCESS IN THE AGE OF DIGITAL TRANSFORMATION: DESIGN THINKING AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTEGRATION	1-7
Şebnem ATASARAL Berna Nur ŞİMŞEK Cerennaz TOĞUÇ	MORPHOLOGICAL DISCRIMINATION IN FRESHWATER MUSSELS (*UNIO* SPP.): AN APPROACH USING SHAPE INDICES AND GEOMETRIC MORPHOMETRICS	8-19
Tuba ÇİFTCİ Nurhan USLU Mehmet Musa ÖZCAN	THE EFFECT OF DIFFERENT BREWING METHODS ON THE ANTIOXIDANT CAPACITY AND PHENOLIC PROFILE OF SPENT COFFEE GROUNDS	20-26
Burak KAYA	An EVALUATION of the PRINCIPLE of IMPARTIALITY and OBJECTIVITY RECOMMENDED by the COUNCIL of EUROPE to the ADMINISTRATION in the CONTEXT of HUMAN RIGHTS	27-35
Ahmet Can HASKAN Çağdaş ARSLAN	MANDIBULAR RECONSTRUCTION WITH ILIAC BONE GRAFT AND DENTAL IMPLANT PLACEMENT IN A 35-YEAR-OLD PATIENT: A CASE REPORT	36-41
Şeyma KANARA Mustafa Oğuz GÖK	REFLECTIONS OF BIOMIMETIC APPROACHES IN TEXTILE DESIGN	42-46
Şeyma KANARA Suat ÇETİNER	THE SUSTAINABILITY AND INNOVATION IN TECHNICAL TEXTILES	47-50
Ece ÖZGÖREN ÜNLÜ Cengiz GAZELOĞLU	AN INTERSECTIONAL ANALYSIS OF SUICIDE MORTALITY RATES IN TÜRKİYE: A TREND STUDY BASED ON AGE AND GENDER (2010-2024)	51-56
Ece ÖZGÖREN ÜNLÜ Cengiz GAZELOĞLU	POLICY CHANGES OR FINANCIAL REALITIES? AN ANALYSIS OF THE STRUCTURAL SHIFT IN EDUCATION SPENDING PRIORITIES IN TÜRKİYE (2011-2024)	57-63
G. G. Huseynova S.S.Veliyeva	MOST COMMON CENTRAL NERVOUS SYSTEM DISEASES AMONG THE ELDERLY, OLD, AND LONG-LIVED	64-68
Ömer ÖZKAN	FROM QUALITY MANAGEMENT TO INTELLIGENT QUALITY: THE TRANSFORMATIVE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN QUALITY AND INNOVATION MANAGEMENT	69-75
Osman ALTAY	TOURISM ATTRACTION POTENTIAL AND FINANCING ARCHITECTURE IN THE EASTERN BLACK SEA PROVINCES: AN EXPLORATORY PROVINCE-LEVEL INDEX AND SUSTAINABLE INCENTIVE DESIGN	76-86
Ufuk YER Mesut NAMLI Ahmet İsmail ÖZKAN Deniz CANBOLAT GÜLTEKİN Uğur IŞIK Seda FANDAKLI	BIOLOGICAL EVALUATION OF COBALT AND ZINC PHTHALOCYANINES CONTAINING SCHIFF BASE AND CHLOROPHENYL GROUPS	87-95
Şule DOĞRAMACI Mine TOPÇUBAŞI	DIGITAL DOCUMENTATION IN ARCHAEOLOGICAL SITES: AN EXAMINATION OF ITALIAN CASE STUDIES AND RECOMMENDATIONS	96-109
Abdurrahman SEÇKİN	A GLIMPSE INTO THE MEDIEVAL HISTORY OF ŞAVŞAT: USTAMIS FORTRESS AND ITS STRATEGIC IMPORTANCE	110-121
Nilay AKÇAY Erkan Kırış	DETERMINATION OF ACTIVITY CONCENTRATIONS OF NATURAL AND ARTIFICIAL RADIONUCLIDES IN SOIL SAMPLES COLLECTED AROUND SOME CHILDREN'S PLAYGROUNDS IN RIZE PROVINCE	122-128
Nilay AKÇAY Erkan Kırış	DETERMINATION OF ACTIVITY CONCENTRATIONS OF NATURAL AND ARTIFICIAL RADIONUCLIDES IN MAIZE FLOURS CONSUMED IN TÜRKİYE	129-135
Faruk AŞLAKCI Cansel BADEMLİK	THE VISUAL AND DISCURSIVE CONSTRUCTION OF THE BODY IN OBESITY NEWS: AN ANALYSIS OF ONLINE NEWS ARTICLES	136-151
Faruk AŞLAKCI Necmiye MAZLUM	AN EVALUATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE-ASSISTED NEWS PRODUCTION FROM THE PERSPECTIVE OF TURKISH CONSTITUTIONAL LAW: FREEDOM OF THE PRESS, MISINFORMATION, AND PERSONAL RIGHTS	152-167
Halime KURT Gül Kaleli Yılmaz	INVESTIGATION OF THE INTERACTION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE WITH SIXTH-GRADE STUDENTS IN THEIR PROCESS OF SOLVING FACTORS AND MULTIPLES PROBLEMS	168-185

Halime KURT Hiranur AKSOY Tuğçe KOZAKLI ÜLGER Gül KALELİ YILMAZ	PROSPECTIVE MATHEMATICS TEACHERS SKILLS IN STRUCTURING "WHY" QUESTIONS	186-201
Hiranur AKSOY Gül KALELİ YILMAZ Tuğçe KOZAKLI ÜLGER	A SYSTEMATIC REVIEW OF STUDIES ON AI-SUPPORTED PROBLEM SOLVING IN MATHEMATICS EDUCATION	202-214
Emre KARATAŞ Muhammet Ali HEYİK	READING THE CULTURAL LANDSCAPE THROUGH PLACE NAMES: A MICRO-TOPONYMIC ANALYSIS OF THREE VILLAGES AROUND SAFRANBOLU	215-229
Büşra KAY Şükrü İLGÜN Ali İbrahim Can GÖZÜM	A COMPARISON OF THE CONTRIBUTION OF KIRIGAMI TECHNIQUE AND ACTIVITY-BASED TEACHING METHOD TO THE TEACHING OF TRANSFORMATION GEOMETRY IN 8TH GRADE, BASED ON STUDENT OPINIONS	230-242
Fatma ERDEN Şükrü ÜLGÜN Ali İbrahim Can GÖZÜM	COMPARISON OF THE CONTRIBUTION OF STORYTELLING AND ACTIVITY-BASED TEACHING METHODS TO THE INSTRUCTION OF 7TH GRADE QUADRILATERALS BASED ON STUDENT OPINIONS	243-260
Hurigül EKEN	SOCIAL EXCLUSION AND LIVED EXPERIENCES OF OLDER ADULTS IN DIGITAL HEALTH INTERFACES	261-271
Tuğçe KAYA	RURAL TOURISM DEMAND in Türkiye: TRENDS in FARM, VILLAGE and MOUNTAIN HOUSE ACCOMMODATION	272-282
Ramazan AYDIN Halil İbrahim YUMRUTAŞ	EXPERT WITNESS PRACTICES IN TURKEY	283-293
Vedat ÇALIŞKAN	GENERATIVE AI–BASED FALSE JUDICIAL DECISION CITATIONS: COUNSEL'S DUTY OF VERIFICATION AND PROCEDURAL CONSEQUENCES IN CIVIL PROCEEDINGS **GENERATIVE AI–BASED FALSE JUDICIAL DECISION CITATIONS: COUNSEL'S DUTY OF VERIFICATION AND PROCEDURAL CONSEQUENCES IN CIVIL PROCEEDINGS**	294-309
Kurban KOTAN	EVALUATING CYCLICAL HYBRID IMPUTATION FOR MULTIVARIATE FINANCIAL TIME SERIES UNDER CONTROLLED MISSINGNESS	310-319
Fatih Mehmet ATEŞ	THE EFFECT OF EMOTIONAL INTELLIGENCE AND ALEXITHYMIA LEVELS AMONG HEALTHCARE WORKERS ON THE OCCURRENCE OF WORK-RELATED ACCIDENTS AND OCCUPATIONAL DISEASE	320-328
Furkan ULUSAL	THE IMPORTANCE AND FEASIBILITY OF LONG-TERM CARE INSURANCE FOR TÜRKİYE: A COMPARATIVE EVALUATION	329-340
Zeynep AYGÜN Sona BODAGHI İmren ESENTÜRK-GÜZEL Evren ALGIN YAPAR Ebrar İNAL-KILIÇARSLAN Murat KARTAL	PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF POLYVINYL ALCOHOL/HYALURONIC ACID HYDROGELS CONTAINING YLANG-YLANG ESSENTIAL OIL FOR COSMETIC APPLICATIONS	341-342
Ozge AYDIN	ONCOCYTIC PAPILLARY CYSTADENOMA OF THE LARYNX: A RARE CASE	343-344
Mahmud Sami TANŞU Seher Berna KIRDÖK TANŞU	EVALUATION OF CARDIOMETABOLIC AND INFLAMMATORY COMORBIDITY PATTERNS IN INDIVIDUALS ASSESSED FOR OSTEOPOROSIS	345-346
Erdinç KARAKULLUKÇU	DYNAMIC ADAPTIVE ENSEMBLE LEARNING FOR CANCER CLASSIFICATION ACROSS HETEROGENEOUS DATASETS	347-348
Burcu YEŞİLBAŞ Fatma ÖZDER	THE EFFECTS OF SURGICAL SMOKE ON OPERATING ROOM STAFF AND PATIENT HEALTH, AND METHODS OF PROTECTION	349-350
Fatma ÖZDER Burcu YEŞİLBAŞ	GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN NURSING: HALLUCINATIONS AND CLINICAL RELIABILITY	351-352
Ercan BAKIR Sevgin SAMANCIOĞLU BAĞLAMA	THE EFFECTS OF EMOTIONAL LITERACY ON COMPASSION LEVELS AND COMPASSION FATIGUE AMONG INTENSIVE CARE NURSES: A CROSS-SECTIONAL STUDY FROM TÜRKİYE	353-354
Sevgin SAMANCIOĞLU BAĞLAMA Ercan BAKIR	EFFECT OF HOT COMPRESS WITH BLACK CUMIN OIL AND GINGER OIL ON PAIN, STIFFNESS, PHYSICAL FUNCTION AND COMFORT IN INDIVIDUALS WITH KNEE OSTEOARTHRITIS: A RANDOMIZED CONTROLLED TRIAL	355-356

Burak KÖSE Sümeyye YILMAZ Gökçe KEÇECİ Nermin DEMİRKOL İrem KARAGÖZOĞLU	ARTIFICIAL INTELLIGENCE–BASED DETECTION OF PERIAPICAL LESIONS IN TEETH WITH FIXED PROSTHESES: CURRENT APPLICATIONS AND DIAGNOSTIC CHALLENGES	357-358
Burak KÖSE Sümeyye YILMAZ Gökçe KEÇECİ Nermin DEMİRKOL İrem KARAGÖZOĞLU	MECHANICAL PROPERTIES OF DIRECTLY PRINTED CLEAR ALIGNERS: THE ROLE OF 3D PRINTER TYPE, RESIN MATERIAL, THICKNESS, AND GEOMETRY	359-360
Züleyha Pamuk Kamile Erciyas	SOFT TISSUE MANAGEMENT WITH FREE GINGIVAL GRAFT IN PERI-IMPLANT KERATINIZED MUCOSA DEFICIENCY: A CASE REPORT	361-362
İrem OKUMUŞ	THE EFFECT OF CORONAL RESTORATION INTEGRITY ON LONG-TERM PERIAPICAL HEALING IN ENDODONTICALLY TREATED PERMANENT MOLARS: A FOUR-YEAR CASE REPORT	363-364
İrem OKUMUŞ	MULTIDISCIPLINARY MANAGEMENT OF REGENERATIVE ENDODONTIC TREATMENT, INTRACORONAL BLEACHING, AND ORTHODONTIC TREATMENT IN TRAUMATIZED PERMANENT INCISOR TEETH	365-366
İlker Dere Ceren Hatipoğlu	ORAL HISTORY IN THE 2026 SOCIAL STUDIES PROGRAM	367-368
İlker Dere Ceren Hatipoğlu	ORAL HISTORY IN THE 2026 HIGH SCHOOL HISTORY CURRICULA	369-370
Ömer YILMAZ	EXAMINATION OF ANTISOCIAL BEHAVIOR AMONG MENTAL HEALTH PROFESSIONALS IN TERMS OF DEMOGRAPHIC AND PSYCHOSOCIAL VARIABLES	371-372
Burhan GÜL Olcay IŞIK Ahmet Furkan İMAMOĞLU	DETERMINATION OF TERRESTRIAL MAMMAL FAUNA IN KELES DISTRICT OF BURSA PROVINCE USING THE CAMERA TRAP METHOD	373-374
Çiğdem GÜNEŞ	AI OR TRADITIONAL INSTRUCTION? EXPLORING PRE-SERVICE ELT TEACHERS' PEDAGOGICAL PREFERENCES	375
Figen TAŞCI DURGUT	THE POSITION OF TURKEY'S AGRICULTURAL MACHINERY AND TECHNOLOGIES SECTOR IN EU RESEARCH AND INNOVATION PROGRAMS: A CORDIS-BASED ANALYSIS FROM FP6 TO HORIZON EUROPE	376-377
Nazmi Zarifi GÜRKAN	GREEN BUDGETING AND GREEN ACCOUNTING: AN INTEGRATED APPROACH TO PUBLIC FINANCIAL MANAGEMENT	378-379
Fulya TURKOGLU	CHELATION-CONTROLLED HYDROTHERMAL GROWTH OF $Sb_2(S,Se)_3$ THIN FILMS FOR PLANAR PHOTODETECTORS	380-381
Tolga TURAY	EVALUATION OF VISION TRANSFORMER ATTENTION MECHANISMS ON NVIDIA JETSON ORIN NX (16 GB) AND AGX ORIN (32 GB)	382-383
Timuçin Alp ASLAN Hatice GÖK	STATIC ANALYSIS OF FUNCTIONALLY GRADED VAULTS	384-385
Cletus Onwubuoya Bright Adinchezo Adimoha Kenneth Oke Ogeh	MAGNETOHYDRODYNAMICS BIOCONVECTIVE WILLIAMSON HYBRID NANOFLUID FLOW OVER A NON – LINEAR STRETCHING SURFACE WITH JOULE HEATING, ACTIVATION ENERGY AND CATTANEO – CHRISTOV HEAT FLUX	386
R.M.T.N. Senevirathne M.A. Fathima Jelsa	THE RELATIONSHIP BETWEEN EDUCATION AND ECONOMIC DEVELOPMENT IN RURAL AREA (MONARAGALA DISTRICT)	387-402
Yisa David Ndakotsu Paul B Haruna	PASSIVE DESIGN STRATEGIES TO IMPROVE THERMAL COMFORT IN THE DESIGN OF FACULTY OF ARCHITECTURE, FEDERAL UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, MINNA	403-408
Abdessamad MOUHSSINE Houssine MAROUANI Elhabib ROUR Abdelaati EL KHIAT Brahim EL HOUATE Fouad BENHENINI	THE PREVALENCE OF ALLERGIC RHINITIS AND ASSOCIATED FACTORS AMONG NURSING AND HEALTH TECHNICIAN STUDENTS IN SOUTHEASTERN MOROCCO	409-410
Taiwo Akinlo	THE ROLE OF TECHNOLOGY IN FINANCIAL INCLUSION-BANK PERFORMANCE NEXUS IN NIGERIA	411
Naseem Akhter	WOMEN AS KNOWLEDGE PRODUCERS IN CLASSICAL ISLAMIC CIVILISATION	412

Naseem Akhter	ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND HUMAN MORAL RESPONSIBILITY: AN ISLAMIC ETHICAL PERSPECTIVE	413
Barakah. A. Masuud Kafayah . A. Jiddah	PERCEIVED KNOWLEDGE AND IMPORTANCE OF HYDRATION AMONG TRADERS IN IPATA MARKET, ILORIN SOUTH LGA, KWARA STATE	414-415
Dr. Ayesha Batool Hafsa Naeem Dr.Sobia Maqsood	DIGITAL INCLUSION AND WOMEN'S ECONOMIC EMPOWERMENT IN PAKISTAN: EXAMINING THE ROLE OF DIGITAL SKILLS AND FINANCIAL ACCESS	416
S Sivasakthi	AI-DRIVEN INTELLIGENT COMPUTING: EMERGING APPLICATIONS, CHALLENGES AND FUTURE PERSPECTIVES	417
MOSTEFAOUI Leila HADJARI Mohammed Khaladi Hadj Mostafa	GLYCEMIC AND RENAL PROFILES ASSOCIATED WITH SGLT2 INHIBITOR THERAPY IN ALGERIAN PATIENTS WITH METABOLIC SYNDROME	418
KUYEBI, Abiodun David OLORODE Jide John SALAMI, Rofiat Olayinka	INFLUENCE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE UTILISATION ON ENTREPRENEURIAL SKILL DEVELOPMENT AMONG BUSINESS EDUCATION STUDENTS IN COLLEGES OF EDUCATION IN OGUN STATE NIGERIA	419-427
Jamilu Shehu Sani Inusa Milala Deborah Garba Shuaibu H. Manga	CLIMATE-RESILIENT REAL ESTATE: DEVELOPMENT OF A CLIMATE RISK INDEX FOR SUSTAINABLE PROPERTY INVESTMENT	428-438
Jamilu Shehu Sani Inusa Milala Deborah Garba Shuaibu H. Mang	DEVELOPMENT OF AN AI-DRIVEN SMART HOUSING AFFORDABILITY INDEX FOR SUSTAINABLE URBAN HOUSING MARKETS	439-450
Usman Umaru ALIMI Taofeek Musa Bunu Ismaila	FROM CHARGE SEPARATION TO PESTICIDE MINERALIZATION: CRITICAL ADVANCES IN NANOSCALE S-SCHEME HETEROJUNCTION PHOTOCATALYSTS	451
Ejomarie Ewomazino Kezi	SEMANTIC CHANGE AND CULTURAL CONCEPTUALIZATION OF WORDS ADDED TO THE CAMBRIDGE ENGLISH DICTIONARY IN 2025	452
Hadia Tabbasum Shazia Perveen Sumaira Kanwal	ANTIDIABETIC, ANTIOXIDANT AND TISSUE PROTECTIVE EFFECTS OF ALUMINA, IRON-ALUMINA COMPOSITE AND SILICA-CHITOSAN HYBRID NANOPARTICLES IN ALLOXAN-INDUCED DIABETES IN RABBITS	453
H. S. Ndakwo K. H. Oduwole M.A. Umar	CAN NEGATIVE CROSS DIFFUSION TRIGGER INSTABILITY? PATTERN FORMATION IN TWO-SPECIES REACTION–DIFFUSION SYSTEMS	454
H. S. Ndakwo K. H. Oduwole M.A. Umar	PARAMETER SPACE CHARACTERIZATION OF CROSS-DIFFUSION-INDUCED PATTERN FORMATION	455
A. Adams C.Y. Ishola U. Y. Abubakar M. M. Maitala A. Rabiu	A COMPREHENSIVE NUMERICAL INVESTIGATION OF HYBRID QUASI-NEWTON CONJUGATE GRADIENT METHODS: THE SUPERIORITY OF SR1-DFP HYBRIDIZATION	456-461
Eglantina Bulica Admir Sinamati Alketa Tandili Gentian Vyshka	A EUROPEAN PERSPECTIVE ON THE MANAGEMENT OF THE RETINOPATHY OF PREMATURITY: ALBANIAN DATA	462
Ms. SELKA Meryem Prof. KAID SLIMANE Hynd	NEGOTIATING MONOLINGUALISM AND MULTILINGUALISM IN THE AGE OF AI: CODE-SWITCHING IN HUMAN–CHATGPT INTERACTIONS	463
MOHAMMED, U.M. SULEIMAN, F.	GREEN CHEMISTRY FOR A SUSTAINABLE FUTURE: POLLUTION PREVENTION, RENEWABLE RESOURCES, AND HEALTHIER ENVIRONMENTS	464-471
Isiakpere, Sunshine Harriet	PLURICENTRIC APPROACHES TO TEACHING ENGLISH PRONUNCIATION AMONG ONLINE COMMUNITY TEACHERS IN NIGERIA	472
Shahriar Hasan Mridha Ratul Laila Arzumand Banu Md Eamin Mia Sabya Sachi Chanda Antor Piyas Ranjan Biswas Foysal Khan	THE IMPACT OF AI ON FINANCE, ECONOMY AND DEVELOPMENT: BALANCING TECHNOLOGICAL ADVANCEMENTS WITH ETHICAL, EMPLOYMENT AND OPERATIONAL CHALLENGES	473-491

Dongnaan G.A *Nwankwo C. K.*	A BAYESIAN HIERARCHICAL FRAMEWORK INCORPORATING META-ANALYTIC PRIORS FOR MALARIA PREVALENCE ESTIMATION IN DATA-LIMITED SETTINGS	492-495
Roxana Mihaela Moisoiu	EDUCATION AND THE INFLUENCE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE: BETWEEN INNOVATION AND HUMAN DEVELOPMENT	496
Omer Shujat Bhatti Muzaffar Aziz Iqbal Muhammad Asad Ghufran Fahad Khan	CLIMATE-RESILIENT SOLUTIONS: THE ANTICIPATED ROLE OF REED BED TECHNOLOGY IN TRANSFORMING RURAL HYGIENE AND WASTE TREATMENT IN PAKISTAN	497
Moses Adeolu AGOI Olawale Adejumo OSUNLOYE Olajuwon Victor OLAYINKA Oluwanifemi Opeyemi AGOI	GENERATIVE AI LITERACY AMONG INTEGRATED SCIENCE TEACHERS: COMPETENCIES, CHALLENGES AND PROFESSIONAL DEVELOPMENT NEEDS	498-512
MA. Ha Thi Han MA. Cao Duc Anh	THE ROLE OF PHYSICAL EDUCATION LEARNING MOTIVATION IN PREDICTING MENTAL HEALTH AMONG STUDENTS AT THE UNIVERSITY OF DANANG, VIETNAM	513-520
BASHIRU MUHAMMAD LIMAN RUKAYYA MALAMI UMAR	GUIDANCE AND COUNSELLING IN THE ERA OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE: IMPLICATIONS FOR COUNSELLING TRAINING INSTITUTIONS IN NIGERIA	521
Elton Skendaj	THE IMPACT OF ERASMUS+ KA171 MOBILITY ON CULTURAL SKILLS AND ADAPTIVENESS OF ALBANIAN STUDENTS	522-527
Ruslan SHEVERDIN Victor KAZAKEVICH	FEATURES OF RENAL AND LUMBAR HEMODYNAMICS DURING MUSCLE CONTRACTION AND AFTER COFFEE INTAKE IN STUDENTS	528
Dilawar Hussain	ANALYSIS AND DESIGN OF $NiCo_2O_4$/g-CN ELECTROCATALYS VIA HYDROTHERMAL ROUTE TOWARDS ENHANCED OERPERFORMANCE	529
Ketevan Gordeziani Lasha Kavelashvili	IOT-WSN SYSTEMS AND VIRTUAL SENSORS MODERN METHODS FOR MEASURING WATER QUALITY INDICATORS	530-532
Aqsa Farooq	A HYBRID $CdMn_2O_4$/PANI COMPOSITE ELECTROCATALYST FOR ENHANCED OXYGEN EVOLUTION REACTION	533
Omer Shujat Bhatti Zulfiqar Ali Tariq Muhammad Asad Ghufran	THE SPATIAL DYNAMICS OF SOCIAL CAPITAL: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW ON URBAN FORM, NEIGHBOURHOOD DESIGN, AND COMMUNITY COHESION	534
Ummy Rubab Muhammad Ibrahim Irfa Sakandar	SYNTHESIS, CHARACTERIZATION, AND STRUCTURAL INVESTIGATION OF INDOLE-3-BUTYRIC ACID-DERIVED HYDRAZONES: INTEGRATED SPECTROSCOPIC, BIOLOGICAL, AND DFT INSIGHTS INTO STRUCTURE–ACTIVITY RELATIONSHIPS	535
Ummy Rubab Muhammad Ibrahim	SYNTHESIS AND BIOLOGICAL ASSESSMENT OF FUNCTIONALIZED COUMARIN-3-CARBOXAMIDE DERIVATIVES	536
Muhammad Asim Nawaz Mahwish Salman Shahid Adeel	MICROBIAL PRODIGIOSIN AS A SUSTAINABLE BIO-COLORANT: GREEN EXTRACTION, PROCESS OPTIMIZATION AND DEVELOPMENT OF FUNCTIONAL BIOMORDANTED FABRICS	537
Pham Tien Dung	THE IMPACT OF PHYSICAL ACTIVITY ON DEPRESSION LEVELS AMONG STUDENTS AT DA NANG UNIVERSITY OF MEDICAL TECHNOLOGY AND PHARMACY, VIETNAM	538-545
Nodar Sulashvili Margarita Beglaryan Maka Buleishvili Mariam Darbaidze Nana Gorgaslidze Lasha Tchelidze Magda Davitashvili Ada (Adel) Tadevosyan Maia Jikia Vira Kravchenko Marika Sulashvili Lela Grigolia Kakhaber Robakidze Igor Seniuk Marina Giorgobiani Teimuraz Enukidze Mariam Jikidze David Aphkhazava	THE SCIENTIFIC DISCOURSE ON TRANSLATIONAL EPIGENETICS, ONCOGENETICS, PRECISION MEDICINE, TRANSLATIONAL MEDICINE, PHARMACOLOGY, PHARMACOVIGILANCE, CLINICAL PHARMACOLOGY, PHARMACOTHERAPY AND EVIDENCE-BASED MEDICINE: INTEGRATING MOLECULAR INSIGHTS INTO PERSONALIZED CANCER PREVENTION DIAGNOSIS AND THERAPEUTIC CARE	546-599

Nodar Sulashvili Margarita Beglaryan Maka Buleishvili Mariam Darbaidze Nana Gorgaslidze Lasha Tchelidze Magda Davitashvili Ada (Adel) Tadevosyan Maia Jikia Vira Kravchenko Marika Sulashvili Lela Grigolia Kakhaber Robakidze Igor Seniuk Marina Giorgobiani Teimuraz Enukidze Mariam Jikidze David Aphkhazava	SCIENTIFIC TALKS ON EPILEPSY: INTEGRATIVE SCIENTIFIC INSIGHTS INTO NEUROIMMUNOLOGICAL PATHOGENESIS, MOLECULAR MECHANISMS, DIAGNOSTIC COMPLEXITY, THERAPEUTIC PHARMACOLOGY, ADVERSE DRUG OUTCOMES, PRECISION MEDICINE, AND EMERGING GLOBAL STRATEGIES FOR PERSONALIZED CARE	600-677
Muhammad Amar Gul	CIRCULATING EXOSOMAL MIRNAS AS BIOMARKERS FOR SUBCLINICAL INFLAMMATION SERONEGATIVE RHEUMATOID ARTHRITIS	678
Taoufiq MAHLOUB Khaoula KHALESS	SCREENING OF OPERATING PARAMETERS AFFECTING CADMIUM REMOVAL FROM CONCENTRATED PHOSPHORIC ACID BY CO-CRYSTALLIZATION WITH PHOSPHOGYPSUM	679
Rida Zahra Fariha Tariq Omer Shujat Bhatti Ali Arsal M. Asad Ghufran	BEYOND THE HOSPITAL: EXPOSING THE MISSING ARCHITECTURAL VOICE IN HEALTHCARE FACILITY REGULATIONS OF KHYBER PAKHTUNKHWA, PAKISTAN	680
Ummy Rubab Muhammad Ibrahim Irfa sakandar	RATIONAL DESIGN, GREEN SYNTHESIS, AND INTEGRATED COMPUTATIONAL–EXPERIMENTAL EVALUATION OF NOVEL 1,2,3-TRIAZOLE-BASED HYBRID MOLECULES AGAINST DRUG-RESISTANT MICROBIAL PATHOGENS	681-682
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	683
Faisal Nazir	PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF CARBON NANOTUBES FROM BIOCHAR UNDER MICROWAVE IRRADIATION	684
Muhammad Rizwan Sahar G. Tawfik Ali El-Rayyes Lamia Abu El Maati Hussain Sawwan Eman Alzahrani Hala M. Abo-Dief Reda A. Haggam	FABRICATION OF GRAPHITIC CARBON NITRIDE-DECORATED $BAAL_2O_4$ NANOCOMPOSITE FOR HIGH-PERFORMANCE ASYMMETRIC SUPERCAPACITOR	685
MOHAMED OUALD-MOUNTI Aziz EL GHAZOUANI Hamid SADIKI	FUZZY UNCERTAINTY PROPAGATION AND FINITE-TIME TANGENT DYNAMICS IN A ψ-CAPUTO LORENZ SYSTEM	686
Mohammed Waheeb Amal Kamal Kanani Amani Kamal Kanani Faisal Hussein	TOWARDS ESTABLISHING A NATURAL HISTORY MUSEUM IN WADI ZARQA	687-688
R.Devi	GINGER-DERIVED EXOSOME-LIKE NANOPARTICLES AS ORAL DELIVERY VEHICLES FOR CURCUMIN IN INFLAMMATORY BOWEL DISEASE: A "FOOD-TO-MEDICINE" NANOTHERAPEUTIC APPROACH	689-692
Alozie Victoria Chika Akanbi,Bello Muhammed	THE IMPACT OF LECTURE TRANSCRIPTION AND SEARCH SYSTEMS ON ACADEMIC INFORMATION RETRIEVAL IN TERTIARY INSTITUTIONS	693
VINAYAKALAKSHMI T	MACHINE LEARNING-BASED NETWORK INTRUSION DETECTION SYSTEMS: A COMPREHENSIVE SURVEY AND COMPARATIVE ANALYSIS	694-700

EKENE ERIC NNAEMEKA AKANBI BELLO MUHAMMED	ENHANCING GENERAL SECURITY AND MINIMIZING PROXY THROUGH RFID EMBEDDED ID CARD IN THE UNIVERSITY OF ABUJA	701
Idris Memunat Iyetunde Akanbi, Bello Muhammed	COMBATING RETROSPECTIVE ENTRY FRAUD IN STUDENT INDUSTRIALTRAINING LOGBOOKS USING SERVER-SIDE TIMESTAMPING	702-703
Nguyen Thi Be Ba Nguyen Huynh Kieu Anh Nguyen Nhut Nam Thai Cong Dan	OVERVIEW OF WORDPRESS CONTENT MANAGEMENT SYSTEM APPLICATIONS IN TOURISM: THEORY AND PRACTICE	704-719
Oluwakemi Racheal OSHINOWO Moses Adeolu AGOI Adebayo Samuel ADEOGUN Christiana Toyin ODUWOLE	AI-ENABLED PREDICTIVE ANALYTICS FOR PROACTIVE STUDENT SUCCESS AND RETENTION MANAGEMENT	720-731

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

DİJİTAL DÖNÜŞÜM ÇAĞINDA YÖNETSEL BAŞARI: TASARIM ODAKLI DÜŞÜNME VE YAPAY ZEKÂ ENTEGRASYONU

Prof. Dr. Emre TANDIRLI
Bolu Abant İzzet Baysal University, Communication Faculty, Visual Communication Design Department 14100, Merkez, Bolu
ORCID ID: 0000-0002-4766-9858

ÖZET
Dijital dönüşümün hız kazanması, örgütlerin ve yöneticilerin değişen koşullara uyum sağlama, yenilikçi çözümler geliştirme ve sürdürülebilir başarı elde etme biçimlerini yeniden değerlendirmelerini gerekli kılmaktadır. Günümüzde yönetsel başarı yalnızca finansal performans, operasyonel verimlilik veya mevcut süreçlerin etkin biçimde yürütülmesiyle açıklanamamakta; kullanıcı ihtiyaçlarını anlayabilme, değişen problemleri öngörebilme, yenilikçi fikirler geliştirebilme ve bu fikirleri hızlı biçimde uygulamaya aktarabilme kapasitesiyle de ilişkilendirilmektedir. Bu bağlamda tasarım odaklı düşünme yaklaşımı ile yapay zekâ teknolojilerinin birlikte değerlendirilmesi, yeni nesil yönetim anlayışının önemli bileşenlerinden biri olarak öne çıkmaktadır. Çalışmada tasarım odaklı düşünmenin empati, problem tanımlama, fikir geliştirme, prototipleme ve test etme aşamaları; yapay zekânın veri analizi, öngörü, kullanıcı davranışlarının değerlendirilmesi, fikir üretimi ve karar destek süreçlerindeki olanaklarıyla birlikte ele alınmaktadır. Bu doğrultuda nitel araştırma yaklaşımı benimsenerek literatür taraması ve örnek olay incelemesinden yararlanılmış; Apple, Google, Samsung, 3M ve Huawei gibi teknoloji ve inovasyon alanında küresel ölçekte öne çıkan şirketlerin uygulamaları karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, sürdürülebilir yönetsel başarının yalnızca tasarım odaklı düşünme süreçlerinin uygulanmasına değil, bu süreçlerin dijital teknolojiler ve yapay zekâ ile sürekli olarak geliştirilmesine bağlı olduğunu göstermektedir. Yapay zekâ, tasarım odaklı düşünmenin insan merkezli yaklaşımını ortadan kaldıran değil, veri temelli öngörü ve hızlı karar alma kapasitesiyle destekleyen bir araç olarak değerlendirilmektedir. Sonuç olarak dijital dönüşüm çağında yönetsel başarı; insan odaklı düşünme, yaratıcılık ve inovasyon ile yapay zekâ ve dijital teknolojilerin stratejik biçimde bütünleştirilmesine dayanan dinamik ve sürdürülebilir bir yönetim anlayışını gerektirmektedir.
Anahtar kelimeler: Tasarım Odaklı Düşünme, Yapay Zekâ, Dijital Dönüşüm, Yönetsel Başarı, İnovasyon

MANAGERICAL SUCCESS IN THE AGE OF DIGITAL TRANSFORMATION: DESIGN THINKING AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTEGRATION

ABSTRACT
The accelerating pace of digital transformation necessitates a reassessment of how organizations and managers adapt to changing conditions, develop innovative solutions, and achieve sustainable success. Today, managerial success can no longer be defined solely by financial performance, operational efficiency, or the effective execution of existing processes; it is also linked to the ability to understand user needs, anticipate changing problems, develop innovative ideas, and rapidly implement those ideas. In this context, the combined evaluation of design thinking and artificial intelligence technologies stands out as a key component of the new generation of management. This study examines the stages of design thinking—empathy, problem definition, idea generation, prototyping, and testing—along with the possibilities

offered by artificial intelligence in data analysis, prediction, user behavior assessment, idea generation, and decision support processes. To this end, a qualitative research approach was adopted, utilizing a comprehensive literature review and case study methodology; the practices of globally prominent technology and innovation companies such as Apple, Google, Samsung, 3M, and Huawei were comparatively evaluated. The findings demonstrate that sustainable managerial success depends not only on the application of design-thinking processes but also on the continuous enhancement of these processes through digital technologies and artificial intelligence. Artificial intelligence is considered a tool that does not eliminate the human-centered approach of design-thinking, but rather supports it with data-driven prediction and rapid decision-making capabilities. Consequently, in the age of digital transformation, managerial success requires a dynamic and sustainable management approach based on the strategic integration of human-centered thinking, creativity, and innovation with artificial intelligence and digital technologies.
Keywords: Design Thinking, Artificial Intelligence, Digital Transformation, Managerial Success, Innovation

1. INTRODUCTION

The contemporary business and organizational landscape is undergoing an unprecedented paradigm shift driven by rapid technological advancements, fluctuating global markets, and shifting consumer expectations. In this volatile, uncertain, complex, and ambiguous environment, traditional management models historically rooted in static hierarchy, resource optimization, and routine process control are increasingly insufficient for securing long-term competitive advantages (Brynjolfsson & McAfee, 2014). Modern leaders are confronted with a fundamental question: What core competencies and cognitive frameworks are required for managerial success in the digital era? While technological tools such as artificial intelligence (AI), machine learning, and big data analytics have permeated every facet of organizational functioning, technology alone does not guarantee organizational excellence (Davenport, 2018). To navigate this digital transformation effectively, organizations must reconcile technological capability with human-centric strategic thinking. Historically, design thinking has served as a cornerstone of innovative problem-solving, emphasizing empathy, iterative experimentation, and human needs (Brown, 2008; Lockwood, 2009). However, as data volumes grow exponentially and predictive analytics mature, standalone design methodologies face limitations in processing vast datasets and anticipating systemic shifts. Conversely, artificial intelligence offers unmatched computational speed, pattern recognition, and predictive capacity, yet lacks contextual empathy, ethical reasoning, and value judgment (Floridi et al., 2018). This paper posits that sustainable managerial success in the digital age lies in the strategic synthesis of human-centered design thinking and AI-driven analytical capabilities.

2. THE EVOLUTION OF DIGITAL TRANSFORMATION AND MANAGEMENT PARADIGMS

Digital transformation is frequently misconstrued as merely the adoption of advanced software, cloud infrastructure, or automated machinery (Westerman et al., 2014). True digital transformation, however, represents a profound, systemic metamorphosis in organizational culture, operational workflows, decision-making structures, and value creation mechanisms (Vial, 2019). Traditional management frameworks primarily addressed efficiency questions: How can existing resources be utilized more efficiently? How can budgets be strictly controlled and operational targets met? (Kaplan & Norton, 1996).

In contrast, the digital transformation era introduces an entirely new set of strategic inquiries. Managers must now ask: What do users truly desire? How can latent, unarticulated needs be

discovered? How can future disruptions be anticipated before they materialize? Consequently, management is transitioning from a static, control-oriented hierarchy to a dynamic, agile, and experimental ecosystem characterized by continuous learning and adaptation (Schiuma et al., 2021). This transition underscores that digital transformation is fundamentally a leadership and cultural challenge rather than a purely technical implementation.

3. THEORETICAL FRAMEWORK: DESIGN THINKING IN THE DIGITAL ERA

Long before the advent of modern artificial intelligence, design thinking emerged as a robust human-centric problem-solving paradigm (Cross, 2011). Widely recognized in academic and professional literature, design thinking encompasses five iterative phases: Empathy, Problem Definition, Ideation, Prototyping, and Testing (Plattner et al., 2009; Liedtka & Ogilvie, 2011).

1. Empathy: The foundational stage focusing on deeply understanding users, their behaviors, emotional contexts, and unmet needs through observation, interviews, and immersive engagement (Kelley & Kelley, 2013).
2. Problem Definition (Define): Synthesizing qualitative and observational data to articulate a clear, human-centric problem statement that guides subsequent innovation efforts (Dorst, 2011).
3. Ideation: Brainstorming and generating a wide array of diverse, unconventional, and creative solution concepts without immediate constraints (Puccio et al., 2020).
4. Prototyping: Building scaled, tangible, or simulated representations of potential solutions to visualize concepts and evaluate feasibility (Rauth et al., 2010).
5. Testing: Engaging users with prototypes to gather actionable feedback, evaluate utility, and refine solutions (Thomke, 2020).

Crucially, this design cycle is inherently non-linear. Insights gained during the testing phase frequently reveal that the initial problem definition was flawed, prompting teams to loop back to empathy and reframe the challenge (Brown, 2008). This iterative resilience provides modern managers with a systematic model for navigating uncertainty and fostering organizational learning.

4. ARTIFICIAL INTELLIGENCE AS AN ANALYTICAL CATALYST IN DESIGN THINKING STAGES

While design thinking provides the human compass, artificial intelligence acts as a powerful analytical engine capable of supercharging each stage of the design cycle. Rather than replacing human creativity, AI expands cognitive horizons and processes vast datasets that surpass human computational limits (Agrawal et al., 2018).

4.1. Empathy and Big Data Analytics

In traditional design research, empathy is gathered through labor-intensive focus groups and interviews, which are often limited in scale. AI transforms this stage by analyzing thousands of customer service logs, social media sentiments, product reviews, and behavioral metrics simultaneously (Manyika et al., 2017). Machine learning algorithms identify recurring pain points, emotional trends, and latent user preferences across global datasets, offering a macroscopic view of user sentiment.

4.2. Problem Definition and Contextual Framing

Synthesizing disparate data sources into a coherent problem statement is challenging. AI assists managers by cross-referencing historical market data, macroeconomic indicators, and user feedback to highlight hidden systemic anomalies, enabling leaders to frame problems with greater precision and contextual accuracy (Daugherty & Wilson, 2018).

4.3. Ideation and Scenario Generation

Generative AI models and cognitive computing tools expand the ideation space by generating alternative concepts, simulating design variants, and challenging internal organizational blind

spots. By producing diverse solution pathways, AI helps interdisciplinary teams break free from cognitive fixation and groupthink (Amabile, 1996).

4.4. Prototyping and Rapid Simulation

In the digital and service sectors, prototyping has evolved from physical mock-ups to advanced digital twins, virtual simulations, and AI-generated UI/UX wireframes. AI accelerates this phase by rapidly rendering interactive simulations, allowing teams to evaluate structural integrity and user interaction before committing significant capital (SchSchallmo et al., 2018).

4.5. Testing and Real-Time Feedback Assessment

During the testing phase, AI algorithms process user interaction telemetry and feedback in real time, automatically categorizing satisfaction levels and identifying usability bottlenecks with high granularity. This accelerates feedback loops and informs rapid iteration.

5. HUMAN-AI COLLABORATION IN STRATEGIC DECISION-MAKING

A central debate in contemporary management literature concerns the displacement of human leadership by autonomous systems (Brynjolfsson & McAfee, 2014). However, framing the future of management as a zero-sum dichotomy between human intelligence and artificial intelligence is overly simplistic. A more productive inquiry focuses on how humans and AI can operate in symbiotic collaboration (Daugherty & Wilson, 2018).

Artificial intelligence excels in computational speed, pattern matching, predictive modeling, high-volume data processing, and routine automation. Conversely, human leaders possess irreplaceable strengths in contextual understanding, emotional empathy, ethical evaluation, intuitive judgment, moral accountability, and overarching meaning-making (Floridi et al., 2018). Consequently, sustainable managerial success depends on an integrated decision-making architecture where AI provides data, alternative scenarios, and probabilistic forecasts, while human executives apply strategic vision, cultural nuance, and ethical oversight.

6. COMPARATIVE CASE ANALYSES OF GLOBAL INNOVATION LEADERS

To ground these theoretical propositions in empirical reality, an examination of globally renowned innovation leaders; Apple, Google, Samsung, 3M, and Huawei reveals common underlying management philosophies despite sectoral differences.

Apple Inc. exemplifies the seamless integration of human-centric design thinking with cutting-edge engineering, maintaining an unwavering focus on holistic user experience and aesthetic minimalism (Isaacson, 2011).

Google (Alphabet) demonstrates a data-driven experimental culture where rapid prototyping, quantitative user behavior analysis, and AI integration drive continuous product iteration (Schwartz, 2010).

Samsung combines advanced hardware R&D with deep consumer insights, bridging technological capability with regional market preferences (Kim & Mauborgne, 2005).

3M fosters an institutional culture of innovation, encouraging cross-pollination of ideas and employee-driven experimentation (Brand, 1998).

Huawei integrates massive R&D investments with artificial intelligence to optimize telecommunications infrastructure and enterprise solutions (Williamson & Yin, 2014).

Across all these diverse enterprises, a unified management logic prevails: innovation is not treated as a discrete, one-off project but as an institutionalized, continuous capacity for learning, sensing, and transforming.

7. REDEFINING MANAGERIAL SUCCESS AND COMPETENCY PROFILES

Traditional management education and competency frameworks prioritized fiscal stewardship, resource allocation, operational control, and hierarchical target tracking (Mintzberg, 1973). In the digital transformation era, these proficiencies remain baseline requirements but are no longer sufficient for superior leadership. Modern managers must cultivate an expanded

competency portfolio:

1. Navigating Uncertainty and Reading Change: The capacity to interpret weak market signals and maintain strategic agility amidst volatility (Hamel & Välikangas, 2003).
2. Human-Centric Empathy: Maintaining deep attunement to human stakeholder needs despite increasing automation (Brown, 2008).
3. Data and AI Literacy: Understanding the capabilities, limitations, and algorithmic assumptions underlying AI recommendations (Davenport & Ronanki, 2018).
4. Prototyping and Experimentation Mindset: Embracing calculated failure as a learning mechanism to de-risk strategic initiatives (Thomke, 2020).
5. Ethical Governance and Moral Courage: Evaluating algorithmic bias, data privacy, and the societal implications of automated decisions.

Consequently, the contemporary manager transcends the role of a traditional system operator; they act as organizational architects who design the adaptive systems of the future (Tandırlı, 2026).

8. GOVERNANCE, RISKS, AND LIMITATIONS IN AI INTEGRATION

While artificial intelligence offers transformative potential, integrating intelligent systems into managerial workflows introduces substantial organizational risks that require rigorous governance (Bostrom, 2014):

Data Quality Deficits: Flawed, biased, or incomplete training datasets inevitably produce distorted analytical outputs (GarGarbuio & Lin, 2019).

Algorithmic Bias: Machine learning models can inadvertently encode and amplify historical societal prejudices, resulting in unfair or discriminatory organizational decisions (O'Neil, 2016).

Privacy and Cybersecurity Vulnerabilities: The collection and aggregation of vast user and proprietary data heighten exposure to data breaches and regulatory non-compliance (Floridi, 2020).

Overreliance and Automation Complacency: Leaders risk uncritically accepting AI-generated outputs without interrogating the underlying assumptions or contextual constraints (Parasuraman & Manzey, 2010).

To mitigate these risks, managers must adopt a critical stance encapsulated by the guiding inquiry: Rather than asking simply "What does the AI recommend?", leaders must ask "On what data, variables, and assumptions is this recommendation based?".

9. PROPOSED INTEGRATED MANAGEMENT MODEL

Synthesizing the theoretical insights and practical applications discussed, this study proposes an Integrated Management Model combining Human Intelligence, Design Thinking, and Artificial Intelligence (HDT-AI Model). As summarized below, this framework establishes a synergistic workflow for modern organizational governance.

Table 1. From Human Insight to Intelligent Action: The HDT-AI Integrated Management Framework

Model Component	Primary Mechanism	Organizational Role & Function
1. Human Leadership	Empathy, Ethics, Vision	Interprets human context, defines organizational purpose, and assumes ultimate moral accountability for decisions.
2. Design Thinking	Systematic Problem Framing	Structures complex challenges into human-centric stages (Empathy, Define, Ideate, Prototype, Test).
3. Artificial Intelligence	Analytics, Speed, Prediction	Expands data processing capacity, uncovers behavioral patterns, and accelerates scenario generation.

The operational workflow of this integrated model follows a continuous iterative loop: Human leadership identifies a strategic challenge or human need; Design Thinking structures the problem framework; Artificial Intelligence expands the analytical search space and generates predictive options; and Human executives exercise ethical and strategic judgment to execute the final decision.

10. CONCLUSION

In conclusion, digital transformation fundamentally redefines the contours of managerial success. Traditional operational efficiency and financial metrics, while necessary, are insufficient for navigating the volatility of modern markets. Sustainable success requires a dynamic, dual-capability approach that fuses the empathetic, human-centric framework of design thinking with the computational and predictive power of artificial intelligence.

As demonstrated throughout this study, design thinking provides the crucial reminder of human purpose and problem definition, whereas artificial intelligence supplies unmatched speed, data scale, and scenario forecasting. However, technology must remain a cognitive catalyst rather than an autonomous substitute for leadership. The future belongs not to the manager who merely utilizes technology, but to the strategic leader who discerns when, why, and how human values and artificial intelligence are harmonized to shape a sustainable future.

REFERENCES

Agrawal, A., Gans, J., & Goldfarb, A. (2018). Prediction machines: The simple economics of artificial intelligence. Harvard Business Press.

Amabile, T. M. (1996). Creativity in context: Update to the social psychology of creativity. Westview Press.

Bostrom, N. (2014). Superintelligence: Paths, dangers, strategies. Oxford University Press.

Brand, A. (1998). Knowledge management and innovation at 3M. Journal of Knowledge Management, 2(1), 17-22.

Brown, T. (2008). Design thinking. Harvard Business Review, 86(6), 84-92.

Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2014). The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies. W. W. Norton & Company.

Daugherty, P. R., & Wilson, H. J. (2018). Human + machine: Reimagining work in the age of AI. Harvard Business Press.

Davenport, T. H. (2018). The AI advantage: How to put the artificial intelligence revolution to work. MIT Press.

Davenport, T., & Ronanki, R. (2018). Artificial intelligence for the real world. Harvard Business Review, 96(1), 108-116.

Dorst, K. (2011). The core of 'design thinking' and its application. Design Studies, 32(6), 521-532.

Floridi, L. (2020). The logic of information: A theory of philosophy as conceptual design. Oxford University Press.

Floridi, L., Cowls, J., Beltrametti, M., Chatila, R., Chazerand, P., Dignum, V., ... & Vayena, E. (2018).

AI4People—an ethical framework for a good AI society: Opportunities, risks, principles, and recommendations. Minds and Machines, 28(4), 689-707.
Garbuio, M., & Lin, N. (2019). Artificial intelligence as a heuristic for problem framing. Academy of Management Perspectives, 33(4), 422-440.
Hamel, G., & Välikangas, L. (2003). The quest for resilience. Harvard Business Review, 81(9), 52-63.
Isaacson, W. (2011). Steve Jobs. Simon & Schuster.
Kaplan, R. S., & Norton, D. P. (1996). The balanced scorecard: Translating strategy into action. Harvard Business Press.
Kelley, T., & Kelley, D. (2013). Creative confidence: Unleashing the creative potential within us all. Crown Business.
Kim, W. C., & Mauborgne, R. (2005). Blue ocean strategy: How to create uncontested market space and make the competition irrelevant. Harvard Business School Press.
Liedtka, J., & Ogilvie, T. (2011). Designing for growth: A design thinking tool kit for managers. Columbia University Press.
Lockwood, T. (Ed.). (2009). Design thinking: Integrating innovation, customer experience, and brand value. Allworth Press.
Manyika, J., Chui, M., Miremadi, M., Bughin, J., George, K., Willmott, P., & Dewhurst, M. (2017). A future that works: AI, automation, employment, and productivity. McKinsey Global Institute.
Mintzberg, H. (1973). The nature of managerial work. Harper & Row.
O'Neil, C. (2016). Weapons of math destruction: How big data increases inequality and threatens democracy. Crown.
Parasuraman, R., & Manzey, D. H. (2010). Complacency and bias in human use of automation: An attentional integration. Human Factors, 52(3), 381-410.
Plattner, H., Meinel, C., & Leifer, L. (Eds.). (2009). Design thinking: Understand—improve—apply. Springer Science & Business Media.
Puccio, G. J., Mance, M., & Murdock, M. C. (2020). Creative leadership: Thinking differently about leading and changing organizations. SAGE Publications.
Rauth, I., Koppen, E., Jobst, B., & Meinel, C. (2010). Design thinking: An educational model towards creative capability. In Design engineering and management (pp. 1-13).
Schiuma, G., Schettini, E., & Santarsiero, F. (2021). Managing digital transformation: The effects of organizational culture on digital capabilities. Journal of Business Research, 131, 278-286.
Schallmo, D. R., Williams, C. A., & Boardman, L. (2018). Digital transformation of business models—best practice, enablers, and roadmap. International Journal of Innovation Management, 22(08), 1840014.
Schwartz, J. (2010). In the plex: How Google thinks, works, and shapes our lives. Simon & Schuster.
Thomke, S. (2020). Experimentation works: The surprising power of business experiments. Harvard Business Press.
Vial, G. (2019). Understanding digital transformation: A review and a research agenda. The Journal of Strategic Information Systems, 28(2), 118-144.
Westerman, G., Bonnet, D., & McAfee, A. (2014). Leading digital: Turning technology into business transformation. Harvard Business Press.
Williamson, P. J., & Yin, E. (2014). Accelerated innovation: The Huawei way. MIT Sloan Management Review, 56(1), 63-71.

TATLI SU MIDYELERINDE (*Unio spp.*) MORFOLOJIK AYRIM: ŞEKIL İNDEKSLERI VE GEOMETRIK MORFOMETRI YAKLAŞIMI

Doç. Dr. Şebnem ATASARAL
Karadeniz Technical University, Faculty of Marine Sciences, Department of Fisheries Technology Engineering, 61080 Ortahisar, Trabzon
ORCID ID: 0000-0001-9382-7469
Berna Nur ŞİMŞEK
Karadeniz Technical University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Fisheries Technology Engineering, 61080 Ortahisar, Trabzon,
ORCID ID: 0009-0008-8253-3455
Cerennaz TOĞUÇ
Karadeniz Technical University, Faculty of Marine Sciences, Department of Fisheries Technology Engineering, 61080 Ortahisar, Trabzon
ORCID ID:XXXX-XXXX-XXXX-XXXX

ÖZET

Geometrik morfometri, homolog işaret noktaları (landmark) kullanarak organizmaların boyuttan, yönden ve konumdan bağımsız olarak salt şekil analizine olanak tanıyan ve geleneksel ölçüm yöntemlerinin kısıtlamalarını aşan modern bir yaklaşımdır. Bu yöntem, klasik morfolojik ölçümlerle kolayca ayırt edilemeyen taksonların ve çevresel etkilere bağlı olarak yüksek fenotipik plastisite gösteren popülasyonların yüksek doğrulukla teşhis edilmesinde kullanılmaktadır.

Bu araştırmada, Türkiye'nin kuzeyindeki Bafra Balık Gölleri lagün sisteminden toplanan iki tatlı su midyesi türünün (*Unio bruguierianus* ve *Unio pictorum*) kabuk morfolojisindeki varyasyonlar incelenmiştir. Taksonomik teşhis zorluklarını aşmak amacıyla, geleneksel şekil indeksleri ile iki boyutlu (2D) geometrik morfometri teknikleri entegre bir biçimde kullanılmıştır. Örneklerin sol kabukları üzerinden beş temel küresel şekil tanımlayıcısı (yuvarlaklık, dairesellik, dikdörtgensellik, eliptiklik ve form faktörü) hesaplanmış; eş zamanlı olarak 100 yarı-işaret noktasına (semi-landmark) dayanan Genelleştirilmiş Procrustes Analizi (GPA) uygulanmıştır.

İstatistiksel analizler, taksonların yuvarlaklık, dikdörtgensellik ve eliptiklik indeksleri bakımından birbirlerinden tamamen ayrıştığını ortaya koymuştur ($P < 0.001$). *U. pictorum* bireylerinin daha eliptik ve uzamış bir form sunduğu, *U. bruguierianus* bireylerinin ise daha yuvarlak ve dikdörtgensi bir yapı sergilediği saptanmış; ayrıca her iki türde de boyuta bağlı anlamlı şekil değişimleri (allometri) tespit edilmiştir. Temel Bileşenler Analizi (PCA), taksonların morfo-uzayda net bir şekilde kümelendiğini göstermiş, Doğrusal Diskriminant Analizi (LDA) ise bu ayrımın %89.33 genel sınıflandırma doğruluğuna sahip olduğunu kanıtlamıştır. Mantel testi ($r = 0.259$, $P < 0.001$), her iki yöntemin kabuk varyasyonunu tanımlamada güçlü bir yöntemsel uyum içinde olduğunu teyit etmiştir.

Anahtar kelimeler: Geometrik morfometri, Bafra Balık Gölleri, *Unio bruguierianus*, *Unio pictorum*

MORPHOLOGICAL DISCRIMINATION IN FRESHWATER MUSSELS (*UNIO* SPP.): AN APPROACH USING SHAPE INDICES AND GEOMETRIC MORPHOMETRICS

ABSTRACT

Geometric morphometrics is a modern approach that overcomes the limitations of traditional measurement methods by enabling pure shape analysis of organisms—independent of size, orientation, and position—using homologous landmarks. This method is utilized for the highly accurate identification of taxa that are difficult to distinguish through classical morphological measurements and of populations exhibiting high phenotypic plasticity due to environmental influences. In this study, variations in the shell morphology of two freshwater mussel species (*Unio bruguierianus* and *Unio pictorum*) collected from the Bafra Fish Lakes lagoon system in northern Türkiye were investigated. To overcome the difficulties in taxonomic identification, traditional shape indices and two-dimensional (2D) geometric morphometric techniques were employed in an integrated manner. Five global shape descriptors (roundness, circularity, rectangularity, ellipticity, and form factor) were calculated using the left valves of the specimens; simultaneously, a Generalized Procrustes Analysis (GPA) based on 100 semi-landmarks was applied.

Statistical analyses revealed that the taxa completely diverged from each other in terms of roundness, rectangularity, and ellipticity indices ($P < 0.001$). It was determined that *U. pictorum* individuals presented a more elliptical and elongated form, whereas *U. bruguierianus* individuals exhibited a more rounded and rectangular structure; furthermore, significant size-dependent shape variations (allometry) were detected in both species. Principal Component Analysis (PCA) demonstrated that the taxa were clearly clustered within the morphospace, and Linear Discriminant Analysis (LDA) confirmed that this separation yielded an overall classification accuracy of 89.33%. The Mantel test ($r = 0.259$, $P < 0.001$) confirmed a strong methodological congruence between both methods in describing shell variation.

Keywords: Geometric morphometrics, Bafra Fish Lakes, *Unio bruguierianus*, *Unio pictorum*

1. INTRODUCTION

Freshwater mussels (Unionoida) are widespread in inland waters and perform ecologically important functions through filtration, nutrient cycling, food-web linkage, habitat provision, and modification of benthic energy exchange, which is why they are widely regarded as ecosystem engineers (Hobbs et al., 2026). They are also undergoing major declines under climate change and anthropogenic habitat alteration, with documented extinctions underscoring the conservation urgency of unionoid research (Hobbs et al., 2026). Within freshwater mussels, shell form varies substantially across habitats, and recent work explicitly links morphological variation to environmental conditions and genetic differentiation, while noting that traits such as inflation and compression can shift along stream gradients (Sánchez González et al., 2025). This variability complicates morphology-based delimitation, and traditional measurements such as shell length, width, and height are limited because they summarize shells with a small set of linear variables rather than capturing the full complexity of shell form (Sánchez González et al., 2025).

Geometric Morphometrics (GM), utilized for the quantitative analysis of shape and size variations in biological structures, is an advanced analytical approach that overcomes the limitations of traditional linear methods (Spani et al., 2025). Pioneered in the 1980s by researchers such as Bookstein, Kendall, and Goodall, this method transfers shape information directly into a numerical coordinate space while preserving the topological and geometric

integrity of the studied form (Kendall, 1984; Bookstein, 1991; Koca, 2012; Yıldız, 2026). Geometric morphometric methods integrate techniques such as landmark-based analysis, Procrustes superimposition, elliptical Fourier analysis, and principal component analysis (Bookstein, 1991; Goodall, 1991; Kendall, 1984; Koca, 2012; Yıldız, 2026). By utilizing multivariate statistical analyses, this approach enables the testing of not only general shape variations but also size-independent shape differences (Dryden & Mardia, 1998; Rohlf, 2003; Sığırlı, 2011; Zelditch et al., 2004; Yıldız, 2026). Due to its capacity to isolate non-size-related structural differences, it is considered a significantly more advantageous method compared to traditional morphometric approaches (Viacava et al., 2023; Zelditch et al., 2004; Yıldız, 2026).

The present study aims to evaluate the taxonomic discriminatory power of Geometric Morphometrics (GM) by investigating shell shape variations between *Unio pictorum* and *Unio bruguierianus*, two sympatric freshwater mussel species co-occurring in the Bafra Balık Lakes. The core question is whether the morphological divergence between these taxa can be demonstrated—beyond traditional linear metrics—as distinct, species-specific shape variations independent of size effects. Accordingly, this research seeks to isolate pure shape variation through the digital modeling of shell morphology and to test the efficacy of GM in resolving the boundaries between the two species. Furthermore, by evaluating ontogenetic changes in shell geometry, the study aims to elucidate the effect of individual size increase on shape, thereby determining the extent to which interspecific differences are independent of allometric trajectories. Ultimately, this work focuses on testing the applicability of GM for the morphological delimitation of these two *Unio* species in the Bafra Balık Lakes, defining species-specific shell shape variations within a highly detailed analytical framework.

2. MATERIAL AND METHODS

The study was conducted in the Bafra Fish Lakes (Samsun, Türkiye), a complex lagoonal system located in the eastern Kızılırmak Delta. This system comprises several interconnected water bodies, including Balık, Cernek, Uzun, Liman, Gıcı, and Tatlı lakes, which are linked by a network of natural and artificial channels facilitating hydrological connectivity (Anonim, 1997; Yılmaz and Polat,2002). On September 15, 2024, freshwater mussel specimens were collected from the shallow littoral zones (depth < 0.5 m) characterized by sandy–muddy substrates. Following the methodology of Fassatoui et al. (2024), the sampling sites were selected randomly, with an approximate equidistant spacing of 5 km between sites. This approach was chosen to better capture the diversity of freshwater mussels across the study area (Fassatoui et al., 2024).

Fig1: Study area (Alaçam Posta, 2018)

All collected specimens were transported to the Genetic Laboratory of the Karadeniz Technical University (KTU), Sürmene Faculty of Marine Sciences, for detailed morphological and taxonomic evaluation. Species identification was performed based on an integrated assessment of diagnostic shell traits, including global shell contour, umbo position, hinge structure, and periostracum ornamentation. Two sympatric species were identified within the sampled material: *Unio bruguierianus* (Bourguignat, 1853) (n =23) and *Unio pictorum* (Linnaeus, 1758) (n = 52). Species identification was conducted based on external shell morphological characteristics following Bourguignat (1853) and Bauer (2012).

2.1.Shells preparation, image acquisition and measurements

Shell preservation was ensured by removing soft tissues through the detachment of adductor muscles, followed by cleaning with distilled water and storage in a dry, concealed environment. Digital images of both valves were obtained under standardized conditions to minimize distortion errors using a high-resolution mobile imaging system (iPhone). Each specimen was positioned on a high-contrast background with the umbo oriented dorsally, and a metric scale was included for spatial calibration. Although images of both valves were captured, only the left valves were utilized for morphometric analysis to ensure consistency. ImageJ software was employed to extract morphometric variables, including maximum length (M1), maximum height (M2), shell area (SA), and shell perimeter (SP). Subsequent geometric morphometric analyses were performed using MorphoJ to evaluate shape variation between the species.

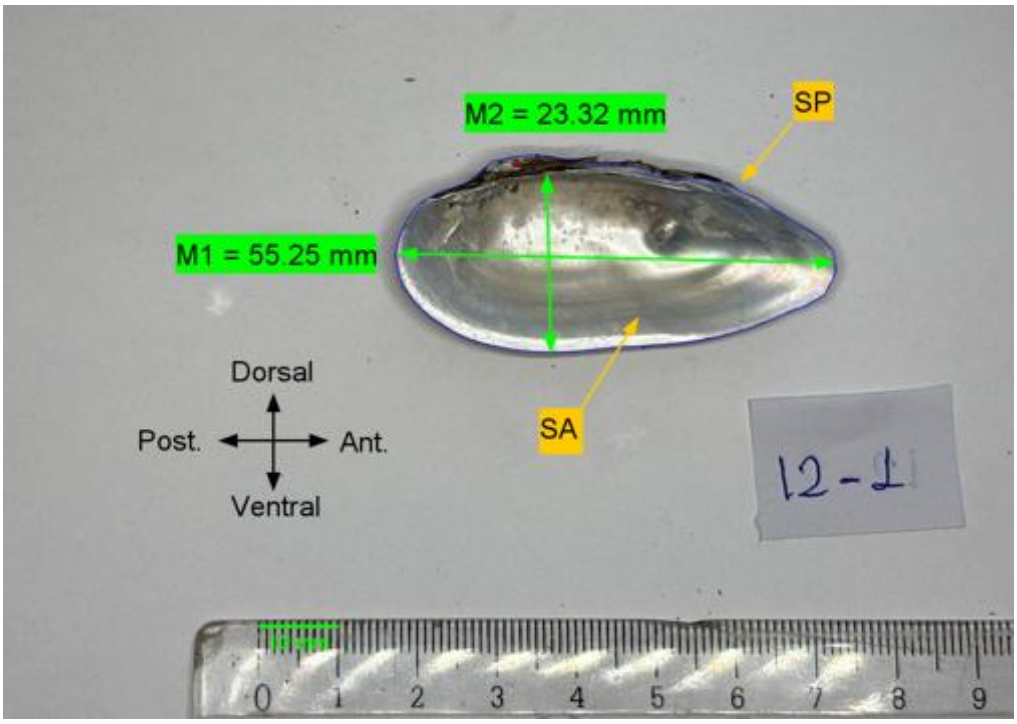


Fig2: Left valve of the freshwater mussel *Unio pictorum* (Linnaeus, 1758), showing the positioning of semi-landmarks used to assess shape variability through geometric morphometry. The measurement parameters used for the calculation of global shape descriptors are indicated as: M1, maximum length; M2, maximum height; SA, surface area; and SP, perimeter. In all specimens, the red dot at the anterior base of the umbo represents the primary anchor point for semi-landmarks, which extend laterally around the valve in a clockwise direction.

Table1: Equations of the five shape descriptors calculated for the left valves of the freshwater mussel species from Bafra Fish Lakes in northern Turkey. M1, maximum valve length; M2, maximum valve height; SA, surface of the valve and SP, perimeter of the valve.

Shape descriptors	Equation
Circularity	S_P^2/S_A
Ellipticity	$(M_1 - M_2)/(M_1 + M_2)$
Form factor	$4\pi S_A/S_P^2$
Rectangularity	$S_A/(M_1 \times M_2)$
Roundness	$4S_A/\pi M_1^2$

2.2.Global shape descriptors

Five global shape descriptors—roundness, circularity, rectangularity, ellipticity, and form factor—were calculated to quantify the shell morphology, following the geometric framework and global shape measures established in the literature (Rosin, 2005; Fassatoui et al., 2024). These indices were derived by integrating morphometric variables, such as maximum length, maximum height, surface area, and perimeter, into specific equations to evaluate the proximity of the valve shape to ideal geometric forms.

2.3.Contour Analysis and Geometric Morphometrics

Valve shape analysis was conducted using two-dimensional geometric morphometric techniques based on semi-landmarks. For each specimen, the shell outline was traced in a

clockwise direction and digitized into x–y equidistant coordinates using a configuration of 100 semi-landmarks in tpsDig2 v2.32 (Rohlf, 2015). The anterior base of the umbo was used as a common starting point for the coordinate system.

Generalized Procrustes Analysis (GPA) was performed to remove non-shape variation associated with differences in scale, position, and orientation among specimens. During this alignment procedure, centroid size (CS), defined as the square root of the summed squared distances of all landmarks from the centroid of the configuration, was calculated for each specimen as a robust proxy for overall shell size. Both the Procrustes superimposition and the extraction of centroid size values were carried out in MorphoJ v1.07 (Klingenberg, 2011). The resulting Procrustes shape coordinates and size metrics were subsequently used in further allometric analyses to assess the influence of size on shell shape variation.

2.4.Statistical analyzes

The normality and homogeneity of variances for the global shape descriptors between *Unio pictorum* and *Unio bruguierianus* were evaluated using the Shapiro-Wilk and Levene's tests, respectively. As the descriptors exhibited a significant departure from normal distribution and homoscedasticity, non-parametric inferential statistics were prioritized. The Kruskal-Wallis test was employed to assess morphometric differentiation between the species, followed by the Mann-Whitney U test for a posteriori pairwise comparisons where significant differences were detected. All computational procedures and visualizations were executed in the R statistical environment (v4.5.1; R Core Team, 2025). Specifically, the car (v3.1-5; Fox and Weisberg, 2019) package was used for Levene's test, and the rstatix (v0.7.3; Kassambara, 2025) package was utilized for pipe-friendly statistical testing. Statistical significance was considered at $P < 0.05$, and P-values for multiple comparisons were adjusted using the False Discovery Rate (FDR) controlling procedure (Benjamini and Hochberg, 1995).

Table 2: Results of the Kruskal-Wallis test and the Mann-Whitney post hoc test comparing the shape descriptors in the freshwater mussel species from Bafra Fish Lakes in northern Turkey. Values show means ± standard error. Values in rows with different superscript lowercase letters are significantly different ($P < 0.05$; after applying the False Discovery Rate positive control) (Benjamini and Hochberg, 1995). Significant differences: ***P < 0.001, and ns: non-significant.

Shape descriptors	*U. bruguierianus*	*U. pictorum*	Chi^2
Circularity	22.235 ± 0.769 a	25.126 ± 1.007 a	0.931 ns
Ellipticity	0.356 ± 0.005 b	0.382 ± 0.002 a	15.172 ***
Form Factor	0.580 ± 0.020 a	0.539 ± 0.019 a	0.931 ns
Rectangularity	0.775 ± 0.005 b	0.762 ± 0.002 a	19.978 ***
Roundness	0.469 ± 0.006 b	0.434 ± 0.002 a	22.957 ***

.

Allometric shape variation in relation to individual size was assessed by examining the relationship between shell shape variables and size metrics. Regression scores derived from Procrustes coordinates were tested against the natural logarithm of centroid size (LnCS), both of which were previously calculated and exported from MorphoJ v1.07 (Klingenberg, 2011). The strength and direction of this relationship were initially evaluated using Spearman's rank correlation coefficient (rS). Size-related shape variation within a geometric morphometric

framework was further assessed through multivariate regressions and linear model evaluations based on randomized residuals. These procedures were conducted in the R statistical environment (v4.5.1; R Core Team, 2025) using the geomorph (v4.1.0; Adams et al., 2026) and RRPP (v2.0.4; Collyer and Adams, 2024) packages, with statistical significance determined through permutation-based tests.

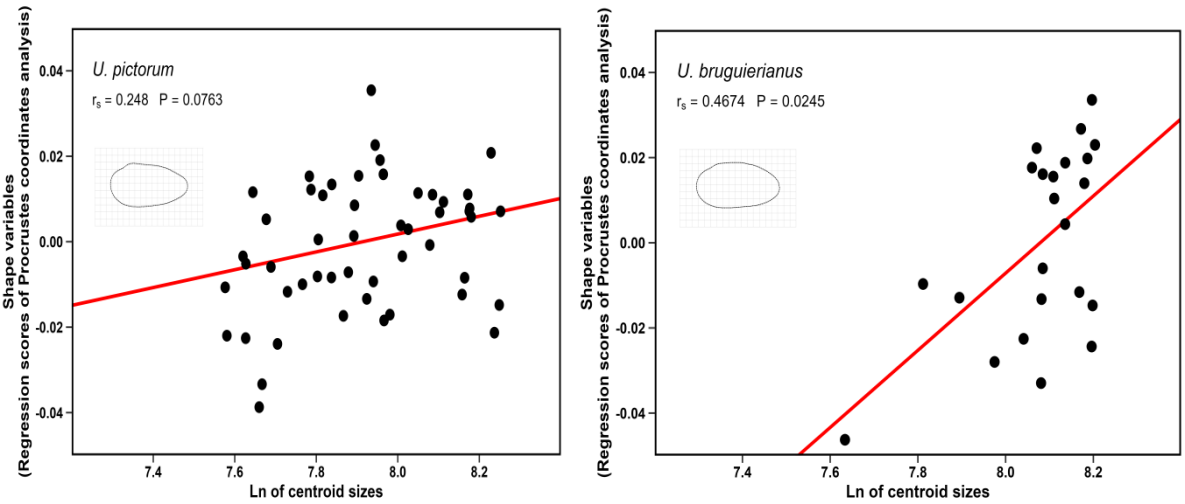


Fig. 3. Spearman's correlation (rS) regression analysis showing the allometric relationship between shell shape and the logarithm of centroid sizes in the two species of freshwater mussels from Bafra Fish Lakes in northern Turkey. The average reconstructed shapes of each species were also plotted using the deformation grids.

Multivariate analyzes were carried out using separately the variables of the global shape descriptors, on the one hand, and the shape data of Procrustes, on the other hand (Fassatoui et al., 2024). Principal Component Analysis (PCA) was employed to ordain the datasets and visualize morphospace occupation. Prior to the PCA, shape descriptors were standardized to unit variance to ensure an equitable contribution to the multivariate configuration. The statistical significance of the principal components was determined using the broken-stick model. To assess the methodological congruence between the traditional shape indices and the Procrustes-based approach, Euclidean distance matrices were constructed for both datasets. The similarity between these matrices was tested using a Mantel test with 9,999 permutations based on Spearman's rank correlation. Furthermore, morphological changes along the primary axes of variation were visualized using thin-plate spline (TPS) deformation grids. All multivariate calculations and high-resolution graphical representations were performed in the R environment, utilizing the geomorph (v4.1.0; Adams et al., 2026), vegan (v2.7.3; Oksanen et al., 2026), and ggplot2 (v4.0.2; Wickham, 2016) packages.

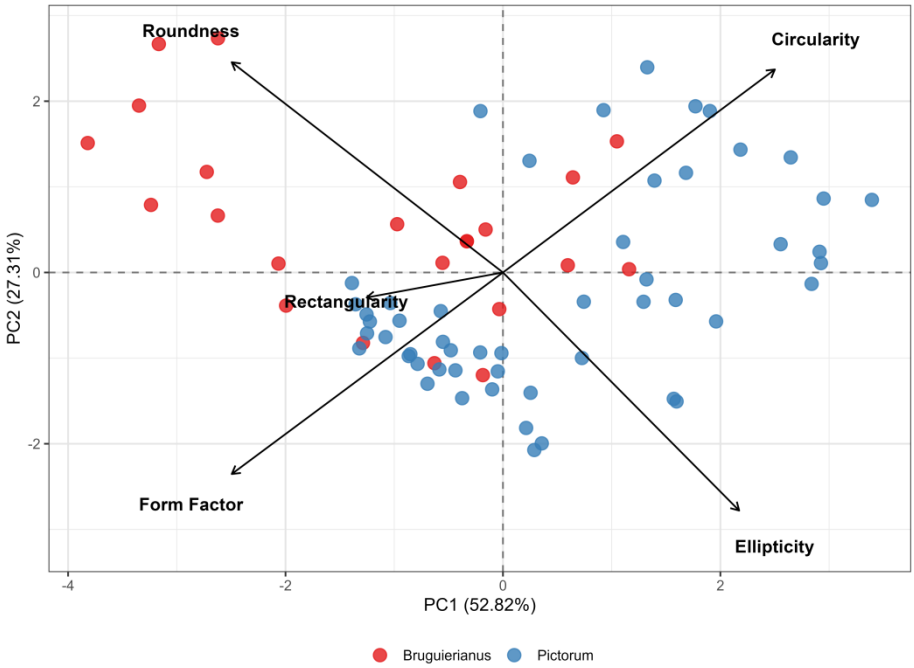


Fig. 4. Plot of the first two dimensions of principal component analysis showing morphological variation based on shape descriptors in freshwater mussels from Bafra Fish Lakes in northern Turkey. Individuals of each species are grouped by the same colors.

Methodological congruence between traditional shape descriptors and landmark-based geometric morphometrics was evaluated using a Mantel test. Independent Euclidean distance matrices were constructed for both datasets, derived from scaled traditional shape indices and aligned Procrustes coordinates, respectively. Structural similarity between these matrices was quantified using Spearman's rank correlation coefficient with 9,999 permutations. All matrix correlations and permutation procedures were executed in the R statistical environment (v4.5.1; R Core Team, 2025) utilizing the vegan package (v2.7-3; Oksanen et al., 2026).

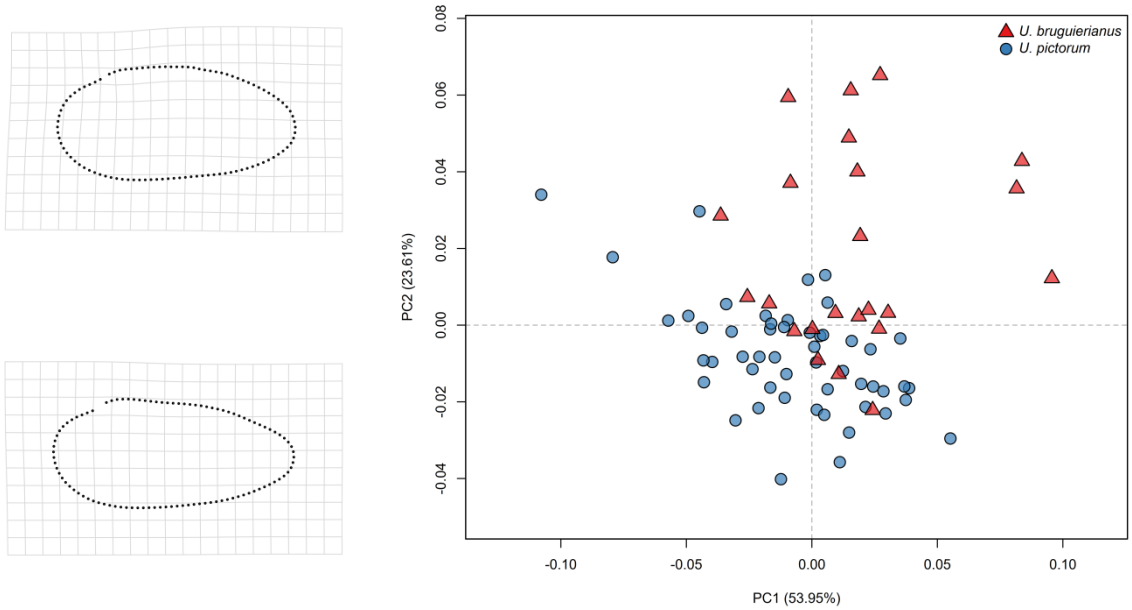


Fig.5. Plot of the first two dimensions of principal component analysis showing morphological variation based on Procrustes data of shell contour coordinates in freshwater mussels from Bafra Fish Lakes in northern Turkey. Contour deformation grids show the mean shape of each species relative to the overall consensus shape. Individuals of each species are grouped by different colors and symbols.

Species discrimination based on shell morphology was performed by conducting a Linear Discriminant Analysis (LDA) on the Principal Component (PCA) scores, with performance evaluated through Wilks' lambda (λ) and leave-one-out cross-validation for classification accuracy. All statistical procedures were processed using the MASS(v7.3-65;Venables & Ripley,2002), and vegan (v2.7-3; Oksanen et al., 2026). packages under the R Project environment.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The Kruskal-Wallis test, applied to determine the degree of morphological variation between the two studied freshwater mussel species (*Unio pictorum* and *Unio bruguierianus*), revealed highly significant differences in three of the five calculated global shape descriptors ($P < 0.001$). The most pronounced interspecific differentiation was observed in roundness and rectangularity. Additionally, ellipticity values exhibited a significant morphological polarization between the species. Mann-Whitney post-hoc comparisons (Table 2) confirmed that both species were completely distinct regarding these three primary descriptors. *U. pictorum* specimens exhibited a more elliptical and elongated form, while *U. bruguierianus* was characterized by higher values for roundness and rectangularity. In contrast, no significant differences were detected for circularity and form factor indices, suggesting that the structural complexity of the shell margins remains conserved across both taxa.

Spearman's empirical correlation coefficient analysis, applied to determine the relationship between shell shape and centroid size (LnCS), indicated significant size-dependent shape variations (allometry) in both species ($P < 0.05$). The ontogenetic shift of shell geometry toward a more elliptical structure with individual growth was visualized using thin-plate spline deformation grids based on Procrustes coordinates. The allometric component was found to be

particularly concentrated along the axes of circularity and elongation.

Principal Component Analysis (PCA) based on standardized shape descriptors effectively partitioned the distribution of both taxa in morphospace. The first two principal components (PC1 and PC2) accounted for 77.56% of the total variance, with PC1 explaining 53.95% and PC2 explaining 23.61%. The broken-stick model approach indicated that the first principal component (PC1) was sufficient to explain the primary variation in the dataset. PC1 identified the transition from the elliptical morphology characteristic of *U. pictorum* to the more rectangular and circular contours of *U. bruguierianus* as the primary axis of variation. The thin-plate spline deformation grids further visualized these shape differences, confirming the structural divergence between the two taxa along the PC axes.

The methodological congruence between traditional global shape indices and landmark-based Procrustes data was evaluated using a Mantel test with 9,999 permutations. The analysis revealed a positive and statistically significant correlation between the distance matrices derived from the two different morphometric approaches ($r = 0.259$, $P < 0.001$). This result confirms that both methods exhibit parallel trends in describing shell variation.

Linear Discriminant Analysis (LDA) demonstrated the statistical strength of the morphological separation. The Wilks' lambda (lambda = 0.106, $P < 0.0001$) indicated that a high proportion of the total variance was explained by the differences between species, confirming a highly significant discriminatory power. The overall classification accuracy was calculated at 89.33%. Examination of species-specific classification sensitivity showed that 96.1% of *U. pictorum* individuals were correctly assigned, while the rate for *U. bruguierianus* was 73.9% .

The phenotypic distance between the two species was quantitatively evaluated using Mahalanobis distances derived from the shell shape data. The analysis revealed a significant morphological divergence between the taxa, with a distance of 1.3262 measured from *U. bruguierianus* to *U. pictorum* and 1.4255 in the reciprocal direction. These distances confirm a robust separation in morphospace, indicating that the two groups possess distinct centroid configurations.

The significant differences detected among the shell shape descriptors indicate that *Unio pictorum* and *Unio bruguierianus* exhibit clear interspecific differentiation in overall shell morphology. The greater ellipticity and elongation observed in *U. pictorum*, compared with the higher roundness and rectangularity characterizing *U. bruguierianus*, suggest that shell geometry represents an important component of species-level morphological differentiation in these taxa. The absence of significant differences in circularity and form factor, however, indicates that this differentiation is not associated with a generalized alteration of shell structure, but rather with specific changes in overall proportions and contour configuration. The significant relationship between centroid size and shell shape further demonstrates that morphological variation is partly influenced by growth, with shell geometry becoming progressively more elliptical during ontogeny. This allometric pattern highlights the importance of accounting for size-related variation when comparing shell morphology between closely related taxa. Nevertheless, the distinct species-level patterns observed in the principal component and discriminant analyses suggest that the morphological differences cannot be attributed solely to ontogenetic variation. Instead, the consistent separation of the two species across complementary analytical approaches supports the presence of taxonomically meaningful differences in shell architecture.

The agreement between traditional shape descriptors and landmark-based Procrustes analysis further strengthens the interpretation that the observed morphological divergence reflects genuine structural differentiation rather than methodological effects. Although the Mantel correlation was moderate ($r = 0.259$), its statistical significance indicates that both approaches

captured comparable patterns of shell variation, while also demonstrating that each method provides partially independent information on shell shape. The high discriminatory performance of the LDA, together with the substantial Mahalanobis distances, provides additional evidence for pronounced morphological separation between the two species. The comparatively lower classification success for *U. bruguierianus* may indicate greater within-species morphological variability or partial overlap with the morphospace occupied by *U. pictorum*. Overall, the concordance among univariate descriptors, allometric analysis, PCA, Procrustes-based visualization, LDA, and Mahalanobis distance suggests that shell morphology provides a robust basis for distinguishing these two *Unio* species. At the same time, the contribution of allometry to shell-shape variation emphasizes that species comparisons should incorporate size effects to avoid conflating ontogenetic changes with taxonomic differentiation.

4. CONCLUSIONS

This study demonstrated the taxonomic discriminatory power of geometric morphometrics in *Unio pictorum* and *Unio bruguierianus*, two sympatric freshwater mussel species from the Bafra Fish Lakes that are already known to be taxonomically distinct. Geometric morphometrics enabled the species-specific shell shape differences to be evaluated independently of size effects, achieving an overall classification accuracy of 89.33% using LDA. Furthermore, the significant allometric relationships detected in both species demonstrated that shell geometry changes with growth, while the significant concordance between traditional shape indices and geometric morphometrics indicated that the two approaches consistently captured variation in shell shape. Overall, this study provides a validated digital morphometric reference framework for *Unio* populations in the Bafra Fish Lakes and establishes a useful basis for species identification and future ecological monitoring studies.

REFERENCES

Adams, D. C., Collyer, M. L., Kaliontzopoulou, A., & Baken, E. K. (2026). *geomorph: Software for geometric morphometric analyses* (Version 4.1.0) [Computer software]. https://cran.r-project.org/package=geomorph

Bauer, G., & Wächtler, K. (Eds.). (2012). *Ecology and evolution of the freshwater mussels Unionoida*. Springer Science & Business Media.

Benjamini, Y., & Hochberg, Y. (1995). Controlling the false discovery rate: A practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological), 57*(1), 289–300. https://doi.org/10.1111/j.2517-6161.1995.tb02031.x

Bourguignat, J.-R. (1853). *Catalogue raisonné des mollusques terrestres et fluviatiles recueillis par M. F. de Saulcy pendant son voyage en Orient*. Gide et J. Baudry. http://gallica.bnf.fr/ark:/12148/bpt6k99038p

Collyer, M. L., & Adams, D. C. (2024). *RRPP: Linear model evaluation with randomized residuals in a permutation procedure* (Version 2.0.4) [Computer software]. https://cran.r-project.org/package=RRPP

Fassatoui, C., Shaiek, M., & Romdhane, M. S. (2024). Assessing shell morphology in freshwater mussels (Mollusca: Bivalvia: Unionidae) from the Maâden River, Tunisia: Insights from geometric morphometrics and shape descriptors. *Scientific African, 26*, Article e02427. https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024.e02427

Fox, J., & Weisberg, S. (2019). *An R companion to applied regression* (3rd ed.). Sage. https://www.john-fox.ca/Companion/

Hobbs, M. J., Yu, S., Kennard, M., & Sheldon, F. (2026). Ecology of freshwater mussels, ecosystem engineers: A global review with focus on Hyriidae. *Biodiversity and Conservation*. https://doi.org/10.1007/s10531-026-03390-0

Kassambara, A. (2025). *rstatix: Pipe-friendly framework for basic statistical tests* (Version 0.7.3) [Computer software]. https://doi.org/10.32614/CRAN.package.rstatix

Klingenberg, C. P. (2011). MorphoJ: An integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources, 11*(2), 353–357. https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2010.02924.x

Oksanen, J., Simpson, G. L., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., … & Weedon, J. (2026). *vegan: Community ecology package* (Version 2.7-3) [Computer software]. https://doi.org/10.32614/CRAN.package.vegan

R Core Team. (2025). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing. https://www.R-project.org/

Rohlf, F. J. (2015). The tps series of software. *Hystrix, the Italian Journal of Mammalogy*, *26*(1), 1–4. https://doi.org/10.4404/hystrix-26.1-11264

Sánchez González, I., Bucholz, J., Hopper, G. W., Lozier, J. D., & Atkinson, C. L. (2025). Three-dimensional morphometrics reveal patterns of unionid shell variation along river gradients. *Journal of Biogeography*. https://doi.org/10.1111/jbi.15084

Spani, F., Locato, V., & De Gara, L. (2025). Unveiling nature's architecture: Geometric morphometrics as an analytical tool in plant biology. *Plants*, *14*, 808.

Venables, W. N., & Ripley, B. D. (2002). *Modern applied statistics with S* (4th ed.). Springer.

Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant graphics for data analysis*. Springer-Verlag. https://ggplot2.tidyverse.org

Yıldız, C. (2026). *Türkiye'deki bazı Hemidactylus turcicus (Linnaeus, 1758) (Squamata: Gekkonidae) popülasyonlarının geometrik morfometri analizi* [Yayımlanmamış tez]. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi.

Yılmaz, S., & Polat, N. (2002). Bafra Balık Gölleri (Samsun, Türkiye)'nde yaşayan haskefal (*Mugil cephalus* L., 1758)'in yaş ve büyüme özellikleri. *Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fen Dergisi*.

Alaçam Posta. (2018, November 9). [*A view from Bafra Fish Lakes*] [Photograph]. https://alacamposta.com/m/haber_detay.asp?haberID=4097&bafra-balik-golleri-su-urunleri-hakki-kiraya-veril.html

FARKLI DEMLEME YÖNTEMLERİNİN KAHVE TELVESİNİN ANTİOKSİDAN KAPASİTESİ VE FENOLİK PROFİLİNE ETKİSİ

Tuba ÇİFTCİ
Konsüt Gıda A.Ş, Konya
ORCID ID: 0009-0005-0615-3870
Doc. Dr. Nurhan USLU
Selçuk Üniversitesi/Ziraat Fakültesi/Gıda Mühendisliği Bölümü, Konya
ORCID ID: 0000-0002-1392-8604
Prof. Dr. Mehmet Musa ÖZCAN
Selçuk Üniversitesi/Ziraat Fakültesi/Gıda Mühendisliği Bölümü, Konya
ORCID ID: 0000-0002-5024-9512

ÖZET
Bu çalışmada, yerel bir işletmeden temin edilen kahveyle hazırlanan Türk kahvesi, filtre kahve ve espresso kahve telvelerinin toplam fenolik içeriği, toplam flavonoid içeriği, antioksidan aktivitesi ve fenolik bileşenleri karşılaştırılmıştır. Kahve biyoaktif bileşenlerinin telveye geçiş oranları incelenerek, ekstraksiyon veriminin demleme yöntemine bağlı değişimi değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre en yüksek toplam fenolik ve toplam flavonoid miktarı sırasıyla 495.40 mg GAE/100 g ve 188.79 mg QE/100 g olarak Türk kahvesi telvesinde tespit edilirken, en düşük miktarlar sırasıyla 138.14 mg GAE/100 g ve 35.31 mg QE/100 g olarak espresso kahveye ait telvede belirlenmiştir. En yüksek antioksidan aktivesi ise espresso kahve (6.57 mmol TE/kg) telvesinde belirlenmiştir. Kahve telvelerinin baskın fenolik asitleri, protokateşuik asit ve kafeik asit olarak belirlenmiştir. Protokateşuik asit, Türk kahvesi, filtre kahve ve espresso kahve telvelerinde sırasıyla; 352.63 mg/100 g, 343.64 mg/100 g, 11.79 mg/100 g olarak tespit edilirken, kafeik asit sırasıyla; 21.27 mg/100 g, 25.73 mg/100 g, 14.82 mg/100 g olarak tespit edilmiştir. Telveler flavonoid içerikleri bakımından karşılaştırıldığında rutin en yüksek filtre kahve telvesinde (49.16 mg/100g) ve espresso kahve telvesinde (2154 mg/100 g) tespit edilirken, kateşin en yüksek Türk kahvesi telvesinde (26.90 mg/100 g) tespit edilmiştir. Dekoksiyon (Türk kahvesi), basınçlı demleme (espresso kahve) ve infüzyon (filtre kahve) yöntemleri ile hazırlanan kahve telvelerinin önemli miktarda biyoaktif bileşen içerdiği gözlemlenmiştir.
Anahtar kelimeler: Kahve telvesi, antioksidan aktivite, fenolik bileşikler, demleme yöntemi

THE EFFECT OF DIFFERENT BREWING METHODS ON THE ANTIOXIDANT CAPACITY AND PHENOLIC PROFILE OF SPENT COFFEE GROUNDS

ABSTRACT
This study compared the total phenolic content, total flavonoid content, antioxidant activity, and phenolic compounds of Turkish coffee, filter coffee, and espresso coffee grounds prepared with coffee sourced from a local business. The transfer rates of coffee bioactive compounds into the spent coffee were examined, and the variation in extraction yield depending on the brewing method was evaluated. According to the results, the highest total phenolic and total flavonoid amounts were found in Turkish coffee grounds (495.40 mg GAE/100 g and 188.79 mg QE/100 g, respectively), while the lowest amounts were determined in espresso coffee grounds (138.14 mg GAE/100 g and 35.31 mg QE/100 g, respectively). The highest antioxidant activity was found in espresso coffee grounds (6.57 mmol TE/kg). The dominant phenolic acids in the coffee grounds were identified as protocatechuic acid and caffeic acid. Protocatechuic

acid was detected in Turkish coffee, filter coffee, and espresso coffee grounds at 352.63 mg/100 g, 343.64 mg/100 g, and 11.79 mg/100 g, respectively, while caffeic acid was detected at 21.27 mg/100 g, 25.73 mg/100 g, and 14.82 mg/100 g, respectively. When the grounds were compared in terms of flavonoid content, rutin was found to be highest in filter coffee grounds (49.16 mg/100 g) and espresso coffee grounds (2154 mg/100 g), while catechin was found to be highest in Turkish coffee grounds (26.90 mg/100 g). It was observed that coffee grounds prepared by decoction (Turkish coffee), pressure brewing (espresso coffee), and infusion (filter coffee) methods contained significant amounts of bioactive compounds.
Keywords: Spent coffee grounds, antioxidant activity, phenolic compounds, brewing method

1. INTRODUCTION

Coffee is the second most traded commodity after petroleum, with a history spanning 1000 years (Ateş and Elmacı 2017). According to the Turkish Language Association, coffee, a word of Arabic origin, is defined as a tree of the Rubiaceae family that grows in hot climates (Coffea arabica), the seeds of its fruit, the powder obtained by roasting and grinding these seeds, and the beverage prepared from this powder. (Tutgun et al. 2024). The coffee plant is cultivated between 25 degrees north latitude and 30 degrees south latitude, especially in countries such as Brazil, Vietnam, Colombia, Indonesia, and Ethiopia (Boyar 2024). There are approximately 80 species belonging to the Coffea genus, but only Coffea arabica (Arabica) and Coffea canephora (Robusta) are used commercially. Arabica constitutes 75% of coffee production and Robusta constitutes 25%. Arabica coffee has higher sensory characteristics, consumer preference, and price compared to Robusta (Ateş and Elmacı 2017). The world's coffee trade (70%) comes from Brazil, Vietnam, Colombia, and Indonesia (Boğa and Dertli 2021). After water and tea, coffee is the most consumed beverage worldwide (Kanbolat et al. 2022). It has been observed that people drink an average of 2.5 cups of coffee a day, and this consumption has increased over the years. Due to the increase in consumption, production has also increased over the years (Tutan and Yıldırım 2025). A study conducted in 2022 by the International Coffee Organization and the National Coffee Association (ICO) stated that 400 billion cups of coffee are consumed worldwide each year. The chemical composition of coffee varies according to the type of bean, roasting, and brewing method. There are many different coffee brewing methods. Turkish coffee: Finely ground Arabica beans are boiled in water and served with its unique, frothy texture. Espresso coffee: The biggest difference from other coffee brewing methods is the use of pressure. It is obtained by the short-term contact of coffee with water under pressure. Filter coffee: Obtained by passing hot water over ground coffee in a filter paper. It has a light texture, clear, and free of sediment (Semint and Şen 2025). The chemical composition of coffee includes phenolic compounds, alkaloids, and diterpenes. Chlorogenic acid is the prominent phenolic compound, while cafestol and kahweol are prominent diterpenes. Caffeine and trigonellin make up the majority of alkaloids. The chemical composition of coffee consists of 43-60% carbohydrates, 7.5-10% protein, 10-15% lipids, and 1-2% caffeine (Tutan and Yıldırım 2025). Approximately 650 kg of spent coffee grounds are produced as waste from 1 ton of green coffee. Spent coffee grounds are a waste product rich in melanoidin, phenolic compounds, amino acids, saturated fatty acids, and dietary fiber (Boğa and Dertli 2021). The chemical composition of spent coffee grounds consists of 45.3% carbohydrates, 8.6% cellulose, 36.7% hemicellulose, 13.6% protein, and 3.7% amino acids (Özgen Keleş 2022). Spent coffee grounds are a waste product rich in both organic and inorganic components. Therefore, their reuse is becoming increasingly important for the environment and the economy (Ciner et al. 2024). This study investigated the bioactive properties of spent coffee grounds obtained from Turkish coffee, espresso, and filter coffee brewing methods.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Materials

Ground coffee (*Coffea arabica*) was obtained from a coffee shop in Bursa. Coffees were obtained by 3 different methods using 10 g of coffee powder and 150 ml of water. Turkish coffee, espresso and filter coffee are separated from the spent coffee after brewing. Coffee grounds (2 g) were dissolved in 20 ml methanol-water (80%) and filtered for use in analytical procedures.

2.2. Method

2.2.1. Total phenolic content

Total phenolic contents of spent coffee extracts were determined using Folin Ciocalteu (FC) reagent (Yoo et al. 2004). Extracts (0.5 ml) were mixed with 2.5 ml FC reagent and 2 ml sodium carbonate solution. The absorbance values of the samples kept in the dark at room temperature for 2 hours were determined at 725 nm in a spectrophotometer. Gallic acid was used as the standard and results were expressed as mg gallic acid equivalent (GAE)/100 g coffee grounds.

2.2.2. Total flavonoid content

Flavonoid contents of spent coffee extracts were determined using aluminum chloride (Dewonto et al. 2002). Samples (0.5 ml) were mixed by adding 0.15 ml sodium nitrite, 0.15 ml aluminum chloride, then mixed with 2 ml sodium hydroxide solution. 0.2 ml of pure water was added to complete the volume to 5 ml. The samples were kept in the dark for 15 minutes at room temperature and their 510 nm absorbance values were determined on a spectrophotometer. Results are given in mg quercetin equivalent (QE)/100 g grounds.

2.2.3. Antioxidant activity

The antioxidant activity of the samples was determined using 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl (DPPH) (Lee et al. 1998). Extracts (0.1 ml) were mixed with 2 ml of DPPH solution. The absorbance values of the samples, which were kept in the dark at room temperature for 30 minutes, were determined with a spectrophotometer at 517 nm. Results are expressed in mmol trolox equivalent (TE)/kg grounds.

2.2.4. Phenolic compounds

Phenolic compounds of the extracts were determined at 280 nm using HPLC (Shimadzu LC 10A vp, Kyoto, Japan) equipped with Inertsil ODS3 analytical column (5 µm, 25 cm × 4.6 mm, GL Sciences, Japan) and Diode Arrey Detector (Shimadzu SPD-M20). Phenolic compounds were separated by gradient elution method using mobile phases A (0.5% acetic acid solution) and B (acetonitrile). The flow rate of mobile phases is 0.85 ml/min and the injection volume is 40 µl. During the study, the column temperature was kept constant at 40°C. Reference standards for phenolic compounds were obtained from Sigma-Aldrich Co. Obtained from LLC.

3. RESULTS AND DISCUSSION

Total phenolic contents, total flavonoid contents, and antioxidant activities by DPPH method of spent coffees are presented in Table 1. The highest total phenolic content was determined in Turkish spent coffee (495.40 mg/100g), and the lowest was determined in espresso spent coffee (138.14 mg/100g). In a study, it was reported that the total phenolic content of Turkish coffee was 13.9 mg GAE/g (Fukushima et al., 2009). Çataltepe et al. (2025) reported that the highest total phenolic content was reported in espresso coffee as 6185.71 mg GAE/100 g, followed by Turkish coffee (3787.76 mg GAE/100 g), and filter coffee had the lowest phenolic content with 2212.93 mg GAE/100 g. In another study, the total phenolic content of spent coffee was reported as 88.34 mg GAE/g (Xu et al. 2015).

The highest total flavonoid content was found in Turkish spent coffee (188.79 mg/100 g) and the lowest in espresso spent coffee (35.31 mg/100 g). In a study, it was reported that

the highest total flavonoid content was 4886.90 mg QE/100 g in espresso coffee, 1632.14 mg QE/100 g in Turkish coffee, and 875.48 mg QE/100 g in filter coffee (Çataltepe et al. 2025). While antioxidant activities did not differ much, they were determined to be higher in espresso spent coffee (6.57 mmol/kg) than in Turkish spent coffee and filter spent coffee (6.24 mmol/kg). In a study, the antioxidant activity of Turkish coffee was reported as 0.190 mg/mL (Kanbolat et al. 2022). Natella et al. (2002), the total antioxidant activity of Turkish coffee was reported as 96.4 mol Fe^{+2}/L. In another coffee study, it was reported that the antioxidant capacity of Turkish coffee was lower than filter coffee. In another study, it was reported that the antioxidant capacity of Turkish coffee was 40.143 mg QE/100 g, and filter coffee was 92.86 QE mg/100 g (Yıldırım et al. 2020). In another study, the coffee with the highest antioxidant activity was reported to be filter coffee, 70.25 mmol TE/kg (Çataltepe et al. 2025). Yildirim et al. (2020)'s coffee study, the antioxidant capacity of Turkish coffee and filter coffee prepared using lightly roasted coffee beans was reported as 17.86 g/L and 32.29 g/L, respectively.

Table 1. Total phenol, total flavonoid, and antioxidant activity content of spent coffees.

Samples	Total phenolic content (mg/100 g)	Total flavonoid content (mg/100 g)	Antioxidant activity (mmol/kg)
Espresso spent coffee	138.14 ± 2.92	35.31 ± 0.08	6.57 ± 0.01
Filter spent coffee	472.82 ± 11.34	181.07 ± 2.81	6.24 ± 0.02
Turkish spent coffee	495.40 ± 13.42	188.79 ± 2.57	6.24 ± 0.02

Table 2 shows the phenolic compounds of the spent coffees. The main phenolic acids in the samples were gallic acid (1.19-2.22 mg/100 g), protocatechuic acid (11.79-352.62 mg/100 g), chlorogenic acid (0.33 mg/100 g), caffeic acid (14.82-25.73 mg/100 g), coumaric acid (0.21-7.71 mg/100 g), ferulic acid (0.21-0.78 mg/100 g), cinnamic acid (1.53-4.67 mg/100 g), while the main flavonoids were catechin (1.23-26.90 mg/100 g), rutin (21.54-49.16 mg/100 g), hesperidin (0.83-12.96 mg/100 g), quercetin (1.26-3.83 mg/100 g), and kaempferol (0.14-1.11 mg/100 g). Caffeic acid was found in the lowest amounts in espresso spent coffee (14.82 mg/ 100 g), while it was found to be similar in filter spent coffee (25.73 mg/100 g) and Turkish spent coffee (21.27 mg/100 g). Protocatechuic acid was found in the highest amount in Turkish spent coffee (352.62 mg/100 g), followed by filter spent coffee (343.64 mg/100 g), and in the lowest amount in espresso spent coffee (11.79 mg/100 g). Cinnamic acid was most abundant in filter spent coffee (4.67 mg/100 g), Turkish spent coffee (4.08 mg/100 g), and espresso spent coffee (1.53 mg/100 g), respectively. Among the flavonoid compounds, rutin was most abundant in filter spent coffee (49.16 mg/100 g), while its levels were similar in espresso spent coffee (21.54 mg/100 g) and Turkish spent coffee (23.48 mg/100 g). Catechin was found in the lowest amount in espresso spent coffee (1.23 mg/100 g), while it was highest in Turkish spent coffee (26.90 mg/100 g). Quercetin was detected in the highest amount in espresso spent coffee (3.83 mg/100 g) and in the lowest amount in filter spent coffee (1.26 mg/100 g). Gallic acid (2.22 mg/100 g) and coumaric acid (7.71 mg/100 g) were found to be higher in Turkish spent coffee compared to other spent coffees. Quercetin (3.83 mg/100 g) was found to be higher in espresso spent coffee, while rutin (49.16 mg/100 g), hesperidin (12.96 mg/100 g), and kaempferol (1.11 mg/100 g) were found to be higher in filter spent coffee compared to other spent coffees. In the study of Uslu (2022), the phenolic acids of spent coffees obtained by decoction method were found to be gallic acid (1.25-6.58 mg/100 g),

caffeic acid (0.94-6.85 g/100 g), ferulic acid (0.18-4.46 mg/100 g), while the flavonoids were catechin (306.72-600.63 mg/100 g), rutin (2.88-71.87 mg/100 g), and kaempferol (0.23-8.08 mg/100 g). In another study, the amount of chlorogenic acid in espresso spent coffee was found to be 1705.656 mg/kg (Angeloni et al. 2020). In a study by Ayseli et al. (2021), it was reported that the amount of chlorogenic acid in medium-roasted Turkish coffee (1399.5 mg/L) was higher than that in dark-roasted Turkish coffee (912.0 mg/L). Another coffee study reported that the highest catechin content was found in espresso coffee (2709.53 mg/100 g), followed by Turkish coffee (1270.80 mg/100 g) (Çataltepe et al. 2025). In a study by Vu et al. (2021), the gallic acid content of spent coffee was reported between 15.2 and 202.3 µg/g, caffeic acid between 69.1 and 230.7 µg/g, p-coumaric acid between 9.7 and 267.5 µg/g, and ferulic acid between 40.5 and 1041.7 µg/g. Differences have been observed in the studies conducted compared to the current study. It is thought that this may be due to differences in coffee beans, location, growing conditions, roasting process, and extraction method.

Table 2. Phenolic compounds of spent coffees

Phenolic acids (mg/100 g)	Espresso spent coffee	Filter spent coffee	Turkish spent coffee
Gallic acid	1.29 ± 0.00	1.19 ± 0.15	2.22 ± 2.46
Protocatechuic acid	11.79 ± 0.00	343.64 ± 6.00	352.62 ± 8.99
Chlorogenic acid	ND*	0.33 ± 0.00	ND
Caffeic acid	14.82 ± 0.00	25.73 ± 0.66	21.27 ± 1.87
Coumaric acid	0.21 ± 0.00	2.64 ± 0.04	7.71 ± 2.29
Ferulic acid	0.21 ± 0.00	0.69 ± 0.17	0.78 ± 0.08
Cinnamic acid	1.53 ± 0.00	4.67 ± 0.06	4.08 ± 0.38
Flavonoids (mg/100 g)	**Espresso spent coffee**	**Filter spent coffee**	**Turkish spent coffee**
Catechin	1.23 ± 0.68	20.21 ± 0.49	26.90 ± 1.34
Rutin	21.54 ± 2.16	49.16 ± 1.04	23.48 ± 1.29
Hesperidin	0.83 ± 0.32	12.96 ± 0.34	7.61 ± 1.46
Quercetin	3.83 ± 0.45	1.26 ± 0.42	1.85 ± 0.53
Kaempferol	0.14 ± 0.11	1.11 ± 0.68	0.35 ± 0.23

*ND: Not detected.

4. Conclusions

In this study, the bioactive properties of spent coffees obtained by different methods such as decoction (Turkish coffee), infusion (filter coffee), and pressing (espresso coffee) were analyzed and compared. The highest total phenolic and flavonoid content was found in Turkish spent coffee, followed by filter spent coffee. Antioxidant activity results were equal in Turkish spent coffee and filter spent coffee, while the highest was found in espresso spent coffee. The main phenolic acids were identified as protocatechic acid, caffeic acid, and cinnamic acid. The dominant flavonoids were determined to be catechin and rutin. According to the study, Turkish spent coffee and filter spent coffee are recommended for waste utilization.

REFERENCES

Ateş G, Elmacı Y. (2017). Potansiyel Fonksiyonel Bileşen: Kahve Çekirdeği Zarı. Akademik Gıda 15(1), 66-74.

Tutgun D, Kubat L. (2024). Kahve Posasi Katkili Sirlarin Seramik Bünyelere Etkileri. Uluslararası Disiplinlerarası ve Kültürlerarası Sanat 9(19), 43-62.

Boyar F. (2024). Kahve Çekirdeği Kalitesi Sıralamasında TOPSIS Yöntemi Yaklaşımı. EKOIST Journal of Econometrics and Statistics (40), 46-62.

Boğa T, Dertli E. (2021). Kullanılmış Kahve Telvesinin Lif Kaynağı Olarak Değerlendirilme Potansiyeli. Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi (31), 114-120.

Kanbolat Ş, Badem M, Şener SÖ, Aliyazıcıoğlu R. (2022). Phenolic Profiles, Tyrosinase Inhibitory, and Antioxidant Effects of Green Coffee, and Turkish Traditional Coffee. Journal of Apitherapy and Nature 5(2), 82-92.

Tutan NS, Yıldırım İG. (2025). Kahve ve Bileşenlerinin Gastrointestinal Sağlık Üzerindeki Etkileri. Sağlık Profesyonelleri Araştırma Dergisi 7(1), 40-46.

Semint S, Şen A. (2025). Kahve Demleme Yöntemleri: Karşılaştırmalı Bir Analiz. Uluslararası Güncel Turizm Araştırmaları Dergisi 9(2), 214-224.

Özgen Keleş B. (2023). Kahve Atiklarinin Tekstilde Kullanimi. Turkish Journal of Fashion Design and Management 5(1), 36-45.

Ciner MN, Elmaslar Özbaş E, Savuk H, Günay Ş. (2024). The effect of biochar obtained from waste filter coffee grounds on plant germination. International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences 8(3), 561-570.

Yoo KM, Lee KW, Park JB, Lee HJ, Hwang IK. (2004). Variation in major antioxidants and total antioxidant activity of Yuzu (Citrus junos Sieb ex Tanaka) during maturation and between cultivars. Journal of Agricultural and Food Chemistry 52(19), 5907 5913.

Dewanto V, Wu X, Adom KK, Liu RH. (2002). Thermal Processing Enhances the Nutritional Value of Tomatoes by Increasing Total Antioxidant Activity. Journal of Agricultural Food Chemistry 50(10), 3010-3014.

Lee SK, Mbwambo ZH, Chung H, Luyengi L, Gamez E, Mehta RG, Kinghorn AD, Pezzuto JM. (1998). Evaluation of the antioxidant potential of natural products. Combinatorial Chemistry & High Throughput Screening 1(1), 35-46.

Fukushima Y, Ohie T, Yonekawa Y, Yonemoto K, Aizawa H, Mori Y, Watanabe M, Takeuchi M, Hasegawa M, Taguchi C, Kondo K. (2009). Coffee and green tea as a large source of antioxidant polyphenols in the Japanese population. Journal of Agricultural and Food Chemistry 57, 1253-1259.

Çataltepe SN, Uslu N, Özcan MM. (2025). Türk Kahvesi, Filtre Kahve ve Espresso Kahvenin Biyoaktif Özellikleri ve Fenolik Bileşiklerinin Karşılaştırılması. IV. International Congress of the Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology, Niğde, Türkiye.

Xu H, Wang W, Liu X, Yuan F, Gao Y. (2015). Antioxidative phenolics obtained from spent coffee grounds (Coffea arabica L.) by subcritical water extraction. Industrial Crops and Products 76, 946–954.

Natella F, Nardini M, Giannetti I, Dattilo C, Scaccini C. (2002). Coffee drinking influences plasma antioxidant capacity in humans. Journal of Agricultural and Food Chemistry 50, 6211-6216.

Yıldırım S, Demir E, Gök İ. (2020). Türk ve filtre kahve örneklerindeki toplam antioksidan kapasiterin elektro kimayasal yöntemle belirlenmesi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 7(1), 382-393.

Uslu N. (2022). The influence of decoction and infusion methods and times on antioxidant activity, caffeine content and phenolic compounds of coffee brews. European Food Research

and Technology 248, 2021–2030.
Angeloni S, Nzekoue FK, Navarini L, Sagratini G, Torregiani E, Vittori S, Caprioli G. (2020). An Analytical Method for the Simultaneous Quantification of 30 Bioactive Compounds in Spent Coffee Ground by HPLC-MS/ MS. Journal of Mass Spectrometry 55(11), e4519.
Ayseli MT, Kelebek H, Selli S. (2021). Elucidation of aroma-active compounds and chlorogenic acids of Turkish coffee brewed from medium and dark roasted Coffea Arabica bean. Food Chemistry 338, 1-10.
Vu DC, Vu QT, Huynh L, Lin CH, Alvarez S, Vo XT, Nguyen THD. (2021). Evaluation of fatty acids, phenolics and bioactivities of spent coffee grounds prepared from Vietnamese coffee. International Journal of Food Properties 24(1), 1548–1558.

AVRUPA KONSEYİ'NİN İDAREYE TAVSİYE ETTİĞİ TARAFSIZLIK VE NESNELLİK İLKESİ'NİN İNSAN HAKLARI BAĞLAMINDA DEĞERLENDİRİLMESİ

Dr. Öğretim Üyesi Burak KAYA
Giresun University, Faculty of Economics and Administrative Sciences, 28200 Merkez, Giresun
ORCID ID: 0009-0003-6625-3748

ÖZET
Bu çalışmada Avrupa Konseyi'nin tavsiye ettiği bireyler ve idari makamlar arasındaki ilişkilerle ilgili idare hukuku ilkelerinden biri olan tarafsızlık ve nesnellik ilkesi üniversite örnekleriyle değerlendirilmiştir. Çalışmanın amacı kamu yöneticilerinin tesis ettiği işlemlerde oluşan insan hakları ihlallerini en aza indirgemektir. Çalışmada nitel analiz yöntemi uygulanmıştır. Çalışmanı kapsamı kamu idaresiyle sınırlandırılmıştır. Çalışmanın giriş kısmında kamu yararı kavramına değinilmiştir. Gelişme kısmında tarafsızlık, bağımsızlık ve nesnellik kavramları insan hakları bağlamında incelenmeye çalışılmıştır. İnceleme yapılırken mahkeme kararları ve üniversitelerde gerçekleşebilecek bazı durum ve olaylar örnek olarak sunulmuştur. Sonuç kısmında ise tespit edilen olgulara ve eksikliklere yönelik önerilerde bulunulmuştur.
Anahtar kelimeler: Avrupa Konseyi, İdare, Kamu Yararı, İnsan Hakları, Tarafsızlık, Bağımsızlık, Nesnellik.

An EVALUATION of the PRINCIPLE of IMPARTIALITY and OBJECTIVITY RECOMMENDED by the COUNCIL of EUROPE to the ADMINISTRATION in the CONTEXT of HUMAN RIGHTS

ABSTRACT
This study evaluates the principles of impartiality and objectivity, one of the administrative law principles recommended by the Council of Europe concerning relations between individuals and administrative authorities, using university examples. The aim of the study is to minimize human rights violations occurring in the actions of public administrators. A qualitative analysis method was applied in the study. The scope of the study is limited to public administration. The introduction discusses the concept of public interest. The development section examines the concepts of impartiality, independence, and objectivity within the context of human rights. Court decisions and some situations and events that may occur in universities are presented as examples during the examination. The conclusion section offers suggestions regarding the identified facts and shortcomings.
Keywords: Council of Europe, Administration, Public Interest, Human rights, Impartiality, Independence, Objectivity.

1. GİRİŞ
İdarenin temel amacı kamu yararı sağlamaktır. Kamu yararı kavramı ise birden fazla işlevi olan bir kavramdır. İçeriği tek bir tanımla ifade edilebilecek bir kavram değildir. Bu nedenle her bir durum ya da olaya ayrı ayrı olarak uygulanması gereken bir kavramdır. Belki biçimsel olarak ifade edilebilir. Anayasalarda kamu yararı kenar başlığı altında yapılan düzenlemeler veya temel hak ve hürriyetlerin kamu yararı nedeniyle sınırlandırılması kamu yararı kavramını biçimsel olarak ortaya koymaktadır. Bu durumda iptal edilmediği sürece yasama organının

düzenleyici işlemlerinde kamu yararı olduğu varsayılabilir. Buradan yola çıkarak iptal edilmediği sürece idarenin iş, işlem ve eylemlerinde de kamu yararı olduğu varsayımı ileri sürülebilir.

Kamu yararı bireysel menfaatlerden ziyade üst yararı ifade eder. Kamu yararı bazen bireyin bazen toplumun bazen de toplumun üstünde bir yarardır. Bu anlamda kamu yararı bazen bir birey için fayda sağlar. Örneğin gerekli şartları yerine getiren öğrencinin üniversiteye kaydının yapılması bireysel bir faydadır. Kamu yararı bazen toplumun bir kesimine fayda sağlar. Örneğin çocuklara yapılan meşru ayrımcılık bu kabildendir. Kamu yararı bazen toplumun bütününe yönelik fayda sağlayabilir. Otoyollar ve köprüler buna örnek olarak gösterilebilir. Bazen de toplumun üstünde kurum ve kuruluşlarıyla birlikte bütün devleti ve milleti etkileyen bir yarar vardır. Baştan kamu yararı olduğu düşüncesiyle anayasa hükümleri ve kanunlar buna örnek olarak gösterilebilir. Milli Dayanışma ve Toplumsal Bütünleşmenin Güçlendirilmesine Dair Kanun buna örnek olarak gösterilebilir.[1] Toplumun üstündeki yarar yasama organı tarafından sağlanırken diğer kamu yararları idare tarafından gerçekleştirilir. Çalışmanın konusu itibariyle idare hangi yararı üstün görüyorsa ona göre hareket etmelidir. Bazen bir kesimin yararı bireyin yararından daha üstün gelebilir. Bazen de toplumun bütününün yararı toplumun bir kesiminin yararından daha üstün gelebilir. Bu durumda üstün gelen yarar tercih edilmelidir. Bununla beraber birey-toplum dengesi ve uzlaşısı da sağlanabilmelidir.

İdare kamu yararını kamu hizmeti görerek somutlaştırabilir. Kamu hizmetini de kamu yöneticileri ve görevlileri aracığıyla yürütür. Kamu yöneticilerinin kamu yararını ve birey-toplum dengesi ve uzlaşısını sağlayabilmeleri için adil ve hukuka uygun iş, işlem ve eylem tesis etmeleri gerekir. Kamu yöneticisi öncelikle en üst yarar sayılan anayasa ve kanunlara uygun hareket etmelidir. Kamu yararı güderken eşitlik ilkesi bağlamında hareket etmelidir. Bütün idari iş, işlem ve eylemlerinde tarafsız ve nesnel davranmalıdır. Bu ve buna benzer ilkeler devletlerin anayasalarında, yasalarında, devlet örgütlenmelerinin ortak metinlerinde veya hükümet dışı organizasyonların kararlarında veya tavsiyelerinde vardır.

2. YÖNTEM

Bu çalışmanın konusunu da Avrupa Konseyi'nin hazırladığı bireylerin makamlarla olan ilişkilerinde uygulanacak idare hukuku ilkelerinden biri olan 'tarafsızlık ve nesnellik' ilkesi ele alınmıştır. Çalışmanın giriş kısmında kamu yararı hakkında bilgiler verilmiştir. Gelişme kısmında tarafsızlık, bağımsızlık ve nesnellik kavramları insan hakları bağlamında incelenmeye çalışılmıştır. İnceleme yapılırken mahkeme kararları ve üniversitelerde gerçekleşebilecek bazı durum ve olaylar örnek olarak sunulmuştur. Çalışmanın sonuç kısmında ise idarenin ve dolayısıyla kamu yöneticilerinin bağımsız olamayacağı; kamu yöneticilerinin kamu yararını gerçekleştirirken tarafsız ve nesnel olması gerektiği, tarafsızlığın sağlanabilmesi için idari iş, işlem ve eylemlerde her etkenin duruma göre dikkate alınmasının zorunlu olduğu; kamu yöneticilerinin nesnel davranabilmesi içinde yetki saptırmasına yol açacak iş, işlem ve eylemlerden kaçınması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

3. TARAFSIZLIK VE NESNELLİK

Avrupa Konseyi tarafsızlık ve nesnellik ilkesini, "İdari makamlar yetkilerini yalnızca ilgili hususlarda kullanabilir. Önyargılı bir biçimde hareket etmez veya bu şekilde davrandıkları yönünde algılanmaz." şeklinde açıklamaktadır (Avrupa Konseyi, 2018).

Avrupa Konseyi Bakanlar Komitesi, 2007 tarihli ve 7 sayılı tavsiye kararının 4. maddesinde, idarenin bütün faaliyetlerinde tarafsız olmasını, sadece ilgili verilere dikkate alarak objektif davranmasını, önyargılı bir şekilde faaliyette bulunamayacağını, maiyetindekilerin

[1]Milli Dayanışma ve Toplumsal Bütünleşmenin Güçlendirilmesine Dair Kanun için bkz. https://www.tbmm.gov.tr/ (Erişim Tarihi: 05.07.2026).

faaliyetlerini yerine getirirken kişisel inanç ve çıkarlardan bağımsız olarak tarafsızlık ilkesine uygun hareket etmesini tavsiye etmiştir.[2] Bakanlar Komitesi 2000 tarihli ve 6 sayılı Avrupa'da kamu görevlilerinin statüsüne ilişkin olarak üye devletlere yönelik tavsiye kararında da idarenin tarafsızlığına vurgu yapmıştır[3].

Avrupa Doğru İdari Davranış Yasası konuyu yalnızca tarafsızlık ve nesnellik olarak ele almamıştır. Tarafsızlık, bağımsızlık ve nesnellik olarak ele almıştır. Yasanın tarafsızlık ve bağımsızlık kenar başlıklı 8. maddesinde:

"Yetkili tarafsız ve bağımsız olacaktır. Yetkili kamu üyelerini olumsuz yönde etkileyecek keyfi işlemden ve aynı zamanda gerekçesi ne olursa olsun ayrıcalıklı uygulamadan kaçınacaktır. Yetkilinin davranışı asla kişisel, ailevi ya da milli menfaatleri veya politik baskılar tarafından yönlendirilmeyecektir. Yetkili kendisi ya da yakın bir aile ferdinin maddi bir menfaatinin olduğu hiçbir karara katılmayacaktır." Hükmü düzenlemiştir.[4]

Nesnellik kenar başlıklı 9. maddesinde ise "Yetkili, karar alırken ilgili etkenleri dikkate alacak, her bir etkene hak ettiği önemi verecek, konuyla ilgisi bulunmayan ögeleri göz ardı edecektir." hükmü düzenlemiştir.[5]

3.1. TARAFSIZLIK

İdarenin asıl amacı kamu yararıdır. Birey ile kamu arasında tercih yapması gerektiğinde idare, kuruluş ve işleyiş amacı olan kamu yararını gerçekleştirmek zorundadır. Kamu yararı hukuk devleti ilkesine uygun bir şekilde yerine getirilmelidir. Birey ve toplum arasındaki dengeyi, uzlaşıyı hukuk devleti ilkesi bağlamında sağlamalıdır. Hukuk devleti ilkesinin gereği olarak da iş, işlem ve eylemlerde tarafsız olmalıdır.

Kamu yöneticilerinin hukuka uygun karar verebilmesi için tarafsız olmaları zorunludur. Hukuka aykırı kararlar keyfi bir yönetime yol açar. Keyfi kararlarda ise kamu yararı yoktur. Kamu yöneticilerinin, yakınlarının veya tanıdıklarının çıkarı vardır. Adil bir yönetim için de tarafsızlık ilkesinin kamu yöneticilerince uygulanması zorunludur. Burada zikredilmesi gereken kavram eşitlik olabileceği düşünülse de kanımızca adil bir yönetim ifadesi yönetilenler açısından daha uzlaştırıcı bir kavramı ifade edebilir. Kamu yararı gerçekleştirilirken birey ve toplum arasındaki dengeyi, uzlaşıyı sağlayabilmek gerekir. Genellikle çatışmalar bu noktada yoğunlaşır. Yine de hukuka aykırı bir karar yönetilenler açısından zulümden başka bir şey getirmeyecektir. Hasılı adil ve hukuka uygun bir yönetimin gerçekleşebilmesi için kamu yöneticilerinin tarafsız davranması zorunludur.

Türk Dil Kurumu'na göre tarafsızlık, taraf tutmama, yansızlık ve bitaraf anlamlarına gelmektedir (Türk Dil Kurumu, 2026). Hakimin tarafsızlığı tanımından yola çıkılarak kamu yöneticilerinin tarafsızlığı tanımı yapılabilir. Hakimin tarafsızlığı, objektif olması, taraflardan birini tutmaması, birinin lehine veya aleyhine tavır takınmaması anlamına gelir (Ünver ve

---

[2]İlgili tavsiye şöyledir: *"Madde 4– Tarafsızlık İlkesi: 1. Kamu otoriteleri tarafsızlık ilkesine uygun hareket etmelidir. 2. Kamu otoriteleri sadece ilgili konuları göz önünde bulundurarak objektif şekilde hareket etmelidir. 3. Kamu otoriteleri taraflı şekilde hareket etmemelidir. 4. Kamu otoriteleri, kamu görevlilerinin görevlerini kişisel inanç ve çıkarlarına bakmaksızın tarafsız şekilde yürütmelerini sağlamalıdır."* Avrupa Konseyi Bakanlar Komitesi, CM/REC (2007)7 Sayılı Tavsiye Kararı, https://www.adalet.gov.tr/ (Erişim Tarihi: 05.07.2026).

[3]İlgili tavsiye şöyledir: *"13. Ödevler: "Tüm yurttaşların haklarına gereğince saygı gösterilerek, kamu görevlilerine kamusal görevlerini ifa ederken işin doğasında var olan yükümlülükler dayatılmaktadır. Bu yükümlülükler arasında, başka hususların yanı sıra, hukukun üstünlüğüne saygı gösterilmesi, demokratik kurumlara bağlılık, gizlilik, tarafsızlık, hiyerarşik bağlılık, halka saygı ve hesap verebilirlik yer almaktadır."* Avrupa Konseyi Bakanlar Komitesi, Avrupa'da Kamu Görevlilerinin Statüsüne İlişkin Olarak Üye Devletlere Yönelik R(2000)6 sayılı Bakanlar Komitesi Tavsiye Kararı, https://www.adalet.gov.tr/ (Erişim Tarihi: 05.07.2026).

[4]İlgili hüküm için bkz. https://www.ombudsman.europa.eu/en/home (Erişim Tarihi: 05.07.2026).

[5]İlgili hüküm için bkz. https://www.ombudsman.europa.eu/en/home (Erişim Tarihi: 05.07.2026).

Hakeri, 2012). Bu tanımdan yola çıkarak idarenin tarafsızlığı, idarecilerin veya kamu görevlilerinin muhatap olduğu birey ya da topluma karşı kamu yararı amacıyla objektif olarak hizmet sunması şeklinde tanımlanabilir. Avrupa İnsan Hakları Mahkemesi (AİHM), Ahmed ve Diğerleri/Birleşik Krallık davasında, memurlar için siyasi kısıtlamaların tarafsızlığı sağlamaya yönelik olduğundan bahisle ihlal teşkil etmediğine karar vermiştir (Avrupa Konseyi, 2018). Yani Mahkeme, memurların amaçlarının kamu yararı bağlamında birey veya topluma objektif hizmet etmesinin tarafsızlığın bir gereği olduğunu vurgulamıştır.

İdarenin tarafsızlığı, herkese mutlak bir eşitlik içinde işlem tesis etmesi anlamına gelmemektedir. Aynı konumda olanlara aynı kurallar uygulanabilir. Fakat farklı konumda bulunanlara farklı kurallar uygulanması gerekir (Ünlü, 2020). Bu uygulama da eşitliği ifade eder. Ancak kamu yöneticisinin tesis ettiği işlemler hukuka ve eşitlik ilkesine uygun olabilir ancak nesafet ilkesine uygun olmayabilir. Nesafet ilkesinin gerçekleşebilmesi için kamu yöneticilerinin işlem tesis ederken her etkeni ayrı ayrı ve durumuna göre dikkate almasını gerektirir (Avrupa Konseyi, 2018). Örneğin Danıştay 12. Dairesi'nin bir kararında davacının uyarma cezası aldığını ancak hem soruşturmayı yürüten hem de disiplin cezası veren kişinin aynı olduğunu bu nedenle tarafsızlık ilkesine uygun bir işlem tesis edilmediğine karar vermiştir (Kamu Denetçiliği Kurumu, 2020). Bu kararda idare soruşturmayı yürüten ile disiplin cezasını tesis eden kişinin aynı olduğu etkenlerini dikkate almamıştır.

Başka bir örnekle; X üniversitesi, iktisadi ve idari bilimler fakültesi, siyaset bilimi ve kamu yönetiminde görevli bir akademisyen kendi sınavları için rektörlükten kamera talebinde bulunmuş ve bu talebi rektörlük tarafından reddedilmiş olsun. Yabancı uyruklu bir öğrenci kopya nedeniyle disipline sevk edilmiş olsun. Ortada somut bir delil olmadığı halde veya diğer yöntemlerle ispatlanmadığı halde yalnızca soruşturmacının kanaatine dayanarak sınav sonrası tutulan bir tutanakla dekan tarafından ceza verilmesi hukuka aykırıdır. Buna karşın aynı bölümdeki Türkiye Devleti vatandaşı iki öğrencinin sınavda yan yana oturduğu, yanlış cevaplarının kelimesi kelimesine aynı olduğu veya bazı cevaplarının yapay zekada yazılanlarla bire bir aynı olduğu veya büyük bir paragrafı oluşturan cevabın kelimesi kelimesine aynı olduğu tespit edilmesine rağmen yalnızca somut bir delil olmamasına dayanarak dekan tarafından disiplin cezası verilmemesi örneklerdeki üç öğrenci bağlamında adaletsizlik oluşturmaktadır. Halbuki kamu yöneticileri için tarafsızlığın en görünür hali kanunilik ve/veya kanunla öngörülme ilkeleridir. Dolayısıyla kamu yöneticileri kanun önünde tarafsız olmalıdır. Türkiye Devleti'ndeki kamu yöneticilerinin anayasal bağlamda tarafsız kalmasını sağlayacak hüküm 1982 Anayasası'nın 10. maddesinde 'kanun önünde eşitlik' kenar başlığıyla düzenlenmiştir. Bu düzenlemeye göre idari makamların hepsi kanun önünde eşitlik ilkesine uygun bir şekilde işlem tesis etmelidir (Gözler, 2023). Yine 2547 sayılı Kanun'un 5. maddesinin e fıkrasında imkan ve fırsat eşitliği düzenlenmiştir.[6] Buna rağmen farklı ülkelerden okumaya gelen öğrencilere bu tür bir ayrımcılık yapılması dekanın tarafsız olmadığını gösterir. Kanun önünde dahi tarafsızlığını yitirmiş bir dekana tesis edeceği diğer işlemlerde de kuşkuyla bakılır. Kamu yöneticileri bu kuşkudan dahi uzak kalmalıdır. Avrupa Konseyi'nin de ifade ettiği üzere kamu yöneticisi işlem tesis ederken her bir etkeni dikkate almalıdır. Her etkeni duruma göre dikkate aldıktan sonra etkenlere gereken önemi verip değerlendirmelidir. Bu durum kamu yöneticisinin önyargılı olmasını engellemektedir (Avrupa Konseyi, 2018). Yukarıda verilen örnekler tekrar ele alınırsa Türkiye Devleti vatandaşı olan iki öğrencinin sınavda yan yana oturması; yanlış cevaplarının

[6]2547 sayılı Kanun'un 5. maddesinin d fıkrası şöyledir: "Yükseköğretimde imkan ve fırsat eşitliğini sağlayacak önlemler alınır." Bkz. https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=2547&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5. (Erişim Tarihi: 07.07.2026).

kelimesi kelimesine aynı olması veya bazı cevaplarının yapay zekada yazılanlarla neredeyse aynı olması veya büyük bir paragrafı oluşturan cevabın kelimesi kelimesine aynı olması etkenleri dekan tarafından dikkate alınmamıştır. Avrupa Konseyi'ne göre bu durum tarafgirlik oluşturmaktadır. Yabancı uyruklu öğrencilere farklı bir işlem tesis edilmesi de dekanın yine tarafsız davranmadığını göstermektedir. Her iki örnekte de yanlı davranan dekanın başka konularda tarafsız olması beklenemez. Dekan tarafsızlık konusunda en azından şüpheli duruma düşmüştür. Bu durumda kamu hizmetinin etkili ve verimli yürütüleceği düşünülemez. Bunun sonucunda da idarenin asıl amacı olan kamu yararı gerçekleşmez. Ayrıca tarafsız davranmayan kişilerin yönetici kadrolarına atanması birey-birey ve birey-toplum arasındaki çatışmalarında artmasına da neden olacaktır. Zaten tarafsız olma bilincini özümsememiş bir kamu yöneticisi öncelikle maiyetindekilere sonra da topluma büyük zarar verir (Kartal ve Demirhan, 2009). Çünkü her iki grupta günlük yaşantısında idareyle muhatap olmaktadır.

Türkiye İnsan Hakları ve Eşitlik Kurumu (TİHEK)'nun 'Kamu İdarecilerine Yönelik İnsan Hakları Rehberi' adlı çalışmasında tarafsızlık ilkesine ilişkin eleştirilmesi gereken bazı ifadeleri var. TİHEK'in 'Kamu İdarecilerine Yönelik İnsan Hakları Rehberi' adlı çalışmasının 'Tarafsızlık ve Objektiflik İlkesine Riayet' başlığı altında *"İdareye yüklenmiş bir ödev niteliği taşıyan tarafsızlık ilkesi ile kamu hizmetini yürüten personele siyasi, sosyal ve dinsel eğilimlerini dışa yansıtmama yükümlülüğü getirilmiş, kamu hizmetinin düzenli ve her türlü kuşkudan uzak bir şekilde yürütülmesi amaçlanmıştır (TİHEK, 2024)."* ifadesi yazılmıştır. Bu ifadenin ayrıntılı bir şekilde açıklanması gerekir. Dışa yansıtmama yükümlülüğü neyi ifade etmektedir. Örneğin Müslüman bir dekan üniversitede birisiyle karşılaştığında 'selamunaleyküm' ifadesini kullandığında inancını dışa yansıtmıştır. Yine bu dekanın vakit namazlarını mescitte veya camii de akademisyen ve öğrencilerle birlikte (Cuma namazı gibi) cemaat yaparak kılması da inancını dışarı yansıttığını gösterir. Böyle bir dekanın Ak Partili olduğu mu düşünülmelidir? Bu durumda dekanın tarafsızlığını yitirdiğini düşünerek disiplin soruşturması mı açılmalı ve disiplin cezasıyla mı cezalandırılmalıdır? Bu örnekler diğer inançlara ya da inançsızlığa da uygulanabilir. Yine sosyal eğilimlerden biri olan güven duygusu fakültelerde ya da yüksekokullarda görevli akademisyenler arasında yerleşmemeli midir? TİHEK, örnek sorulardaki bakış açısıyla bu ifadeyi kullanmışsa ifadenin hukuki olmadığı tamamen politik olduğu söylenebilir. Politik düşünceler nedeniyle bazı öğrenciler Cuma namazı örneğini kullanarak dekan hakkında ayrımcılık yaptığına dair şikayette bulunabilir. Peki dekanın üniversitenin içindeki camii de namaz kılması bu anlamda ayrımcılık ise aynı mantıkla camiinin üniversite içerisine yapılması da ayrımcılık olmaz mı? İşte bunlar eski Türkiye'den kalma yorumlara yol açacak ve birçok insanın temel hak ve hürriyetlerinin ortadan kaldırılmasına yol açacaktır. Dolayısıyla TİHEK'in bu ifadeyi daha ayrıntılı bir şekilde yazması gerekirdi. Örneğin dekan inançsızlığı nedeniyle namaz kılan öğrencilere, sol görüşlü olması nedeniyle Adalet ve Kalkınma Partili ya da Milliyetçi Hareket Partili öğrencilere kanuna aykırı bir şekilde farklı bir idari işlem tesis etmiş olsun. Bu durumda ayrımcılık yapmış olur. Yukarıdaki namaz örneğinden yola çıkarak diğerlerine nazaran namaz kılan öğrencilere farklı bir idari işlem tesis edilmesi de ayrımcılıktır. Kanımızca TİHEK'in ifadesi bunu anlatmaktadır. Yine de ifadedeki kavramların ayrıntılı bir şekilde açıklanması ve kavramların yerli yerince kullanılması gerekirdi.

3.2. BAĞIMSIZLIK

Her ne kadar Avrupa Doğru İdari Davranış Yasası idare için tarafsızlığın yanında bağımsızlığı da hükme bağlamışsa da idari hiyerarşi içerisinde yer alan kamu yöneticilerinin bağımsız kalabileceği söylenemez. Bağımsız ve tarafsız olabilecek tek devlet erki yargı organıdır. Hakimler ve savcılar ancak bağımsız ve tarafsız olabilirlerse uyuşmazlıkları adilane bir çözüme kavuşturabilirler. Karar alırken hiçbir organ, makam ve kişiden emir ve talimat almama,

azledilmeme ve hiçbir baskı ve tesir altında kalmama hakim ve savcıların bağımsızlığını sağlar (Centel ve Zafer, 2012).

Bağımsızlık, hakim ve savcılarda olduğu gibi idarede veya kamu yöneticilerinde görülebilecek bir durum değildir. Birincisi merkezi idare içerisinde hiyerarşi vardır. Dolayısıyla biri haricinde ast üst ilişkisi vardır (Atay, 2006). Örneğin merkez ile taşra teşkilatı arasında hiyerarşik bir düzen vardır. Bu hiyerarşi düzeni içerisinde ikame yasağı vardır. Bununla birlikte emir ve talimat verme yetkisi vardır (Gözler ve Kaplan, 2023).

İkincisi idare ile yerel yönetimler arasında vesayet bağı olsa da idare kanunlar çerçevesinde yerel yönetimler üzerinde iş, işlem ve eylem gerçekleştirebilmektedir (Akyılmaz, Sezginer ve Kaya, 2012). Örneğin içişleri bakanlığı belediye başkanını görevden uzaklaştırabilir (Çelik, 2005). Ancak vesayet bağı gereği idarenin yerel yönetimler üzerinde ikame, emir ve talimat verme gibi yetkisi yoktur. Dolayısıyla idarede bulunan kamu yöneticileri mahalli idarelere veya hizmet bakımından yerinden yönetimlere emir ve talimat veremez. Onların yerine geçerek iş, işlem ve eylem gerçekleştirmez (Gözler ve Kaplan, 2023).

Üçüncüsü merkez ve taşra idarelerinin dışında bulunan ve kamu tüzel kişiliğine haiz kurum ve kuruluşlarında kendi içerisinde bir hiyerarşisi vardır (Giritli, Bilgen ve Akgünel, 2006). Örneğin yer bakımından yerinden yönetim kuruluşlarından biri olan belediyelerde, belediye başkanı, genel sekreter, belediye başkan yardımcısı, daire başkanları, müdürler, şefler; memurlar, sözleşmeli personel ve işçiler şeklinde bir hiyerarşi vardır (Mecek ve Atmaca, 2020). Yine hizmet bakımından yerinden yönetim kuruluşu olan üniversitelerde rektör, rektör yardımcıları ve dekanlar şeklinde akademik bir hiyerarşi vardır.

Yukarıda sayılan üç nedenle idarenin ve dolayısıyla kamu yöneticilerinin bağımsız olması düşünülemez. Çünkü idarede kamu yöneticisinin emir ve talimat verme yetkisi vardır. Tabi ki bu yetki sınırsız değildir. Kanunlarla belirlenmiştir. Ancak çalışmanın konusu bu değildir.

Hepsinden öte AİHM'in bu konudaki içtihatları idarenin gerçekten de bağımlı olduğunu göstermektedir. AİHM Çıraklar/Türkiye (European Court of Human Rights, 1998), Incal/Türkiye (European Court of Human Rights, 1998), Karataş/Türkiye (European Court of Human Rights, 1999) ve Öcalan/Türkiye (European Court of Human Rights, 2005) davalarında Devlet Güvenlik Mahkemeleri'nin yapısında askeri hakimlerin bulunduğunu belirterek askeri hakimlerin idare tarafından ve idarenin içinden atandığını ifade etmiştir. Bu nedenle tarafsız ve bağımsız bir mahkeme tarafından yargılanmadıkları için her bir davada ihlal kararı vermiştir. Bu kararlardan dahi idarenin dolayısıyla kamu yöneticilerinin bağımsız olmadıkları anlaşılmaktadır.

Bu anlamda Avrupa Doğru İdari Davranış Yasası'nın 8. maddesinde bağımsızlık kavramının kullanılması isabetli olmamıştır. Avrupa Doğru İdari Davranış Yasası'nda ifade edilmek istenen şey kamu yöneticilerinin politikacılar tarafından yönlendirilemeyeceği ve politikacıların baskısı altında kalmaması gerektiğidir. Bugün Türkiye'de Cumhurbaşkanı'nın millet tarafından seçildiği göz önüne alındığında Cumhurbaşkanı'nın politikacı olduğu söylenebilir. Bu durumda merkezi idarenin başı olan Cumhurbaşkanı hukuka uygun bir konu hakkında kamu yöneticilerine emir ve talimat verebileceği açıktır.

Diyelim ki politikacılar yalnızca milletvekilleri olsun. Bu durumda Cumhurbaşkanı'nı aday gösteren partiye mensup milletvekilleri dolaylı bir şekilde emir ve talimat verebilecektir. Bu yönüyle de bağımsızlık kavramının kullanılması isabetli olmamıştır.

Kamu yöneticilerinin maiyetinde bulunan kamu görevlileri için disiplin incelemesi ve soruşturması başta olmak üzere iş, işlem ve eylemlerinde haksız veya hukuka aykırı emirleri değil, kanuni emirleri yerine getirmesi gerekir. Örneğin herhangi bir sebeple bir öğretim elemanı rektör veya ilgili birimden sorumlu rektör yardımcısıyla ters düşmüş olabilir. Bu durumda öğretim elemanı için bir konu bulunup ilgili rektör veya rektör yardımcısı tarafından

sözlü olarak dekana soruşturma açılması söylenebilir. Dekan makam, hemşehricilik, yükselememe kaygısı gibi farklı sebeplerle bu emri yerine getirebilir. Örneğin öğretim elemanı üniversiteden ayrılması gereken saatten yarım saat önce çıkmış olsun. Sırf bu nedenle bile soruşturma başlatılabilir. Diğer taraftan dersi olmadığı günlerde üniversiteye dahi uğramayan öğretim elemanına inceleme veya soruşturma başlatılmamıştır. Kanımızca Avrupa Doğru İdari Davranış Yasası'nda bahsedilen durum bundan ibarettir. Burada verilen örnekte yer alan rektör, rektör yardımcısı ve dekan yerine bakan, bakan yardımcısı veya milletvekili konulduğunda Avrupa Doğru İdari Davranış Yasası'nın 8. maddesinde düzenlenen 'politik baskılar tarafından yönlendirilme' ifadesi anlaşılacaktır. Ancak Yasa'da kullanılan ifadenin düzeltilmesi gerekir. Bu haliyle karmaşık ve anlaşılması zor bir ifadedir. Yasa'nın bu kısmı 'Yetkilinin davranışı asla kişisel, ailevi, milli menfaatler veya kamu yararına aykırı baskılar tarafından yönlendirilmeyecektir' şeklinde düzenlenebilir. İşte bu anlamda Avrupa Doğru İdari Davranış Yasası'nın 8. maddesinin kenar başlığında yer alan bağımsızlık ifadesi daha anlaşılır hale gelecektir. Bunun dışında kenar başlıkta da değişiklik yapılabilir. Yukarıda sunulan önerinin yerine kenar başlıkta bir düzeltme yapılarak 8. madde daha anlaşılır hale getirilebilir. 'Tarafsızlık ve Bağımsızlık' kenar başlığı yerine 'Tarafsızlık' veya 'Tarafsızlık ve Kamu Yararı' kenar başlıkları konulabilir.

3.3. NESNELLİK

Türk Dil Kurumu'na göre nesnellik, nesnel olma veya nesnelerin gerçeğine dayanma durumu, afakilik, objektiflik, objektivite anlamlarına gelmektedir (Türk Di Kurumu, 2026). Nesnellik, bir konu veya olay hakkında kişisel hislerimize, temayül ve yararımıza göre değil herkes için bağlayıcı genel kurallara göre iş, işlem ve eylem tesis etmeyi ifade eder (Ünver, 2014). İdare bağlamında nesnellik, kamu yöneticilerinin görevlerini yerine getirirken kişisel ve yakın çevresinin inanç ve çıkarlarından bağımsız olarak davranması şeklinde tanımlanabilir. Yakın çevreden maksat kamu yöneticisini duygusal anlamda etkileyebilecek kişilerdir. Kamu yöneticisinin sevgilisi, ailesi, akrabaları, arkadaşları ve hemşehrileri bu gruba girer. Boşanmış olsa dahi eski eşi de bu gruba girer.

Kamu yöneticisinin mali çıkarları söz konusu olabilir (Yıldız, 2013). Örneğin bir üniversitenin ihalesini alacak kişi ilgili kamu yöneticisine rüşvet verebilir. Kamu yöneticisinin çıkarı olabileceği gibi öç alma gibi bir sebeple de nesnel davranmayabilir (Gözler ve Kaplan, 2023). Bu nedenle hasım olunan kişilere ait idari işlem(ler) tesis edilirken öç alacak kamu yöneticisi bu işlem(ler)de bulunmamalıdır. Hasım olan kişilerin idari işleme itirazı üzerine tesis edilecek işlemlerin tesisinde de öç alma niyeti olan kamu yöneticisi bulunmamalıdır. Öç alma yalnızca kamu yöneticisinin şahsı açısından geçerli değildir. Kamu yöneticisinin sevgilisi, ailesi, akrabaları, arkadaşları ve hemşehrileri içinde öç alma durumu gerçekleşebilir. Örneğin X üniversitesinde görevli dekan, hemşehrisiyle arası iyi olmayan bir akademisyene basit bir nedenden soruşturma açıp disiplin cezasına hükmedebilir. Yine soruşturma açılan bir akademisyene sırf eski sevgilisini şikayet etti diye ceza verilmesi yönünde soruşturmacıya telkinde bulunabilir.

Kamu yöneticisinin siyasi çıkarları söz konusu olabilir (Gözler ve Kaplan, 2023). Bunun iki yönde değerlendirmek gerekir. Birincisi kamu yöneticisi ile kamu görevlisinin veya hizmet sunulan bireyin veya toplumun siyasi eğilimi farklı olabilir. Örneğin X üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi dekanı sırf rektörün hemşehrisi olması nedeniyle bu makama gelmiş olabilir. Bu durum nesnellik ilkesine aykırıdır. Dekanın siyasi eğilimi Cumhuriyet Halk Partisi'nden yana olabilir. Bu durumda dekan, siyasal eğilimi Ak Parti olan bir akademisyene basit nedenlerle disiplin soruşturması açıp ceza verebilir. İkincisi kamu yöneticisi siyasete girmek isteyebilir. Bu durumu destekleyecek veya engelleyecek kişilere amacı nedeniyle nesnel davranmayabilir. Örneğin Ak Parti'den milletvekili adayı olmak isteyen bir rektör bu partiye

daha yakın olan akademisyen veya memurlara tesis ettiği işlemlerde daha olumlu davranabilir. Kendisini şikayet ederek milletvekilliği adaylığını engelleyen akademisyene de basit nedenlerle soruşturma açıp disiplin cezası verebilir.

Kamu yöneticisi üçüncü kişilere fayda sağlamak amacıyla işlem(ler) tesis edebilir (Kartal ve Demirhan, 2009). Üçüncü kişiler kamu yöneticisinin sevgilisi, ailesi, akrabaları, arkadaşları, hemşehrileri veya bunlarında tanıdıkları olabilir. Örneğin X üniversitesinin rektör yardımcısı ile İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi dekanı sırf rektörün hemşehrileri olması nedeniyle bu makama gelmiş olabilirler. Bu durum nesnelliğe aykırıdır. Kamu hizmetlerine girişte de nesnel davranılması gerekir. Bunun için objektif kriterlerin belirlenmesi gerekir. Örneğin bir fakültede bölüm başkanının bir arkadaşının tanıdığı olan kişiyi belirleyip ardından o kişinin özelliklerine göre ilana çıkılmış olsun. Jüriyi buna göre oluşturduktan sonra belirlenen kişinin üniversiteye alınması atamaya yetkili amirin nesnel davranmadığını gösterir.

Hile ve kötü niyetle yapılan bu davranışlar yetki saptırması niteliğinde olup kamu yöneticilerinin nesnel davranmamalarının sonucudur (Mumcu, 1970). Bu nedenle bazı kanuni düzenlemelerle örneklerde verilen liyakatsizliklerin bir kısmı aşılabilir. Örneklerden yola çıkarak şu önerilerde bulunulabilir: Bir akademisyenin temel amacı siyaseten kariyer yapmak değildir. Bu nedenle üniversitelerdeki kamu yöneticilerinin siyasetten ayrıştırılması gerekir. Ayrıştırma için kanuni bir düzenleme yapılmalıdır. Bu düzenlemede dekan, yüksekokul müdürü, meslek yüksekokulu müdürü ve yardımcıları ile rektör ve yardımcılarının milletvekili olabilme yolunun kapatılması gerekir. Üniversite kadroları için belirlenen ilan şartları bağımsız bir kurul tarafından hazırlanmalıdır. Bir de kamu yöneticisi; bu yöneticinin sevgilisi, ailesi, akrabaları, arkadaşları, hemşehrileri veya bunlarında tanıdıklarının para akışı Mali Suçları Araştırma Kurulu tarafından düzenli olarak kontrol edilmelidir.

Hasılı kamu yöneticileri anayasa ve kanunlarla verilen görevleri yerine getirmelidir. Bunun asıl amacı ise kamu yararını sağlamaktır. Ayrıca adil ve hukuka uygun bir karar hükümete yardımcı olur. AİHM'in Ahmed ve Diğerleri/Birleşik Krallık davasında ifade ettiği üzere kamu yöneticilerinin ve görevlilerinin amacı hükümete engel olmak değil ona yardımcı olmaktır (Akbulut, 2021). Devlet tüzel kişiliği kurum ve kuruluşlardan meydana geldiği için bu kurum ve kuruluşlarda görevli kişiler adil ve hukuka uygun hareket ederse hükümette politikalarını gerçekleştirebilir. Böylece devletin varlığı, bağımsızlığı ve ilerlemesi de sağlanmış olur.

4. SONUÇ

İdarenin temel amaçlarından bir olan kamu yararı kamu hizmeti aracılığıyla gerçekleştirilir. Kamu hizmeti objektif bir şekilde sunulmalıdır. Bunun için kamu yöneticilerinin tarafsız olması gerekir. Kamu yöneticilerinin tarafsızlığının sağlanabilmesi içinde tesis edilecek iş, işlem ve eylemlerde her etkenin duruma göre dikkate alınması gerekir.

Kamu yöneticilerinin nesnel davranabilmesi içinde yetki saptırmasına yol açacak iş, işlem ve eylemlerden kaçınması gerekir. Kamu yöneticisi kendisinin veya sevgilisinin, ailesinin, akrabalarının, arkadaşlarının, hemşehrilerinin veya bunların tanıdıklarının mali çıkarını değil kamu yararını üstün tutmalıdır. Kendisi veya yukarıda sayılan kişilerin intikamını almak için iş, işlem ve eylem tesis etmemelidir. Kamu yöneticisi kamu hizmeti görürken siyasi çıkarlarını bir kenara koymalıdır. Bunun için bazı kamu yöneticilerine politikacı olma yasağı getirilmelidir. İlgili kamu yöneticisi ancak istifa etmesi halinde politikacı olabilmelidir. İstifa sonrası politikacı olamadığı durumda da görevine geri dönememelidir. Kamu yöneticisi kendisinin dışında üçüncü kişilere yani sevgilisinin, ailesinin, akrabalarının, arkadaşlarının, hemşehrilerinin veya bunların tanıdıklarının çıkarına da iş, işlem ve eylem tesis etmemelidir. Bu nedenle kamu yöneticisinin para akışı Mali Suçları Araştırma Kurulu tarafından düzenli olarak kontrol edilmelidir. Özellikle kamu hizmetlerine girişte liyakat ilkesi dikkate alınmalıdır. Buradaki yetki saptırmasının engellenebilmesi içinde yukarıda verilen üniversite örneğinde

olduğu üzere idareden bağımsız kurullar oluşturulmalıdır.
Son olarak kamu yöneticilerinin bağımsız olamayacağı kanısına ulaşılmıştır.

KAYNAKÇA

Akbulut E. (2021). İnsan Hakları Avrupa Mahkemesi Kararları Işığında Kamu Görevlilerinin İfade Özgürlüğü ve Danıştayın Konuya Yaklaşımı. Uyuşmazlık Mahkemesi Dergisi (18), 1-47.
Akyılmaz B., Sezginer M., Kaya C. (2012). *Türk İdare Hukuku*, Seçkin Yayıncılık, Ankara.
Atay, E. E. (2006). *İdare Hukuku Cilt-1*, Gazi Kitabevi, Ankara.
Avrupa Konseyi (2018). İdare ve Siz, EPA-MAT Basım Yayın, Ankara.
Avrupa Konseyi Bakanlar Komitesi, Avrupa'da Kamu Görevlilerinin Statüsüne İlişkin Olarak Üye Devletlere Yönelik R(2000)6 Sayılı Bakanlar Komitesi Tavsiye Kararı, https://www.adalet.gov.tr/ (Erişim Tarihi: 05.07.2026).
Avrupa Konseyi Bakanlar Komitesi, CM/REC (2007)7 Sayılı Tavsiye Kararı, https://www.adalet.gov.tr/ (Erişim Tarihi: 05.07.2026).
Centel N., Zafer H. (2012). Ceza Muhakemesi Hukuku, Beta Basım Yayın, İstanbul.
Çelik A. (2005). Belediye Başkanlarının Geçici Olarak Görevden Uzaklaştırılması Üzerine Bir Çalışma. Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi 4(14), 145-159.
European Court of Human Rights, Çıraklar/Turkey, 28 October 1998, https://hudoc.echr.coe.int/ (Erişim Tarihi: 10.07.2026).
European Court of Human Rights, Incal/Turkey, 9 June 1998, https://hudoc.echr.coe.int/ (Erişim Tarihi: 10.07.2026).
European Court of Human Rights, Karatas/Turkey, 8 July 1999, https://hudoc.echr.coe.int/ (Erişim Tarihi: 10.07.2026).
European Court of Human Rights, Öcalan/Turkey, 12 May 2005, https://hudoc.echr.coe.int/ (Erişim Tarihi: 10.07.2026).
Giritli İ., Bilgen P., Akgünel, T. (2006). *İdare Hukuku Dersleri*, Der Yayınları, İstanbul.
Gözler K. (2023). İnsan Hakları Hukuku, Ekin Basın Yayın Dağıtım, Bursa.
Gözler K., Kaplan G. (2023). *İdare Hukukuna Giriş*, Ekin Basın Yayın Dağıtım, Bursa.
Kamu Denetçiliği Kurumu. (2020). İyi Yönetim İlkeleri Rehberi, İleri Basım, Ankara.
Kartal N., Demirhan Y. (2009). Türk Kamu Yönetiminde Tarafsızlık. Türk İdare Dergisi (462), 169-176.
Kartal N., Demirhan Y. (2009). Türk Kamu Yönetiminde Tarafsızlık. Türk İdare Dergisi (462), 169-176.
Mecek M., Atmaca Y. (2020). Yerel Yönetimlerin İdari Yapısına İlişkin Mevzuat Analizi. Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi 19(76), Ss. 2068-2087.
Mumcu U. (1970). İngiliz Hukukunda Ultra Vires Kavramı. Ankara Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 27(1), 37-65.
TİHEK. (2024). Kamu İdarecilerine Yönelik İnsan Hakları Rehberi. Ajans Düş Pınarı, Ankara.
Türk Dil Kurumu, Güncel Türkçe Sözlük, https://sozluk.gov.tr/ (Erişim Tarihi: 11.07.2026).
Türk Dil Kurumu, Güncel Türkçe Sözlük, https://sozluk.gov.tr/, (Erişim Tarihi: 05.07.2026).
Üner A. (2014). Kavramsal Açıdan Nesnellik. Mavi Atlas (2), 54-61.
Ünlü U. (2020). Kamu Kurumlarında Örgütsel Adaletin Tesisi; Tarafsızlık İlkesi. Ombudsman Akademik (13), 399-416.
Ünver Y., Hakeri H. (2012). *Ceza Muhakemesi Hukuku*, Adalet Yayınevi, Ankara.
Yıldız H. (2013). Vergi İnceleme İşleminin Bir İdari İşlem Olarak Unsurları Yönünden Hukuki Analizi. Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi Hukuku Fakültesi Dergisi XVII(3-4), 129-154.

35 YAŞINDAKİ HASTADA İLİAK KEMİK GREFTİ İLE MANDİBULAR REKONSTRÜKSİYON VE DENTAL İMPLANT UYGULAMASI: OLGU SUNUMU

Asst. Prof. Dr. Ahmet Can HASKAN
Hatay Mustafa Kemal University, Faculty of Dentistry, Oral and Maxillofacial Surgery, Hatay-Turkey
ORCID ID: 0000-0002-5575-3785
Research Assistant Çağdaş ARSLAN
Hatay Mustafa Kemal University, Faculty of Dentistry, Oral and Maxillofacial Surgery, Hatay-Turkey (Responsible Author)
ORCID ID: 0009-0007-3543-5978

ÖZET
Dişsizlik vakalarında protetik çözümler günden güne gelişmektedir. Günümüzde en sık tercih edilen tedavi yöntemi implant üstü protezler olması nedeniyle dental implant cerrahisi gün geçtikçe yaygınlaşmaktadır. Atrofik çeneler yeterli kemik genişliği veya yüksekliği bulunmaması nedeniyle implant planlamasını zorlaştırmakta ve bu durum hasta ve hekimleri ileri cerrahi yöntemlere yönlendirmektedir. Günümüzde bu tür vakalarda en sık otojen greftlerle augmentasyon tercih edilmektedir. Bu olgu sunumunda, kliniğimizde opere olan 35 yaşındaki bir hastanın kayıtlarından; ileri derecede atrofik mandibulaya sahip olgu, anterior iliak krestten alınan otojen blok greft ile augmentasyon sonrası dental implant uygulaması üzerinden değerlendirilmiştir. Genel anestezi altında hastanın iliak kanadından elde edilen kortikokansellöz blok greft, atrofik mandibulaya adapte edilerek vidalarla rijit tespit sağlandı. Greftleme işleminden 6 ay sonra, radyografik olarak kaynamanın tamamlandığı doğrulanarak mandibulaya 8, maksillaya 4 olmak üzere toplam 12 dental implant yerleştirildi. İmplant uygulamasından 3 ay sonra alınan klinik muayene ve panoramik radyografik kontrollerde greft ve implantların başarılı şekilde entegre olduğu; kemik kaybı, enfeksiyon, greft rezorpsiyonu veya implant kaybı gibi herhangi bir komplikasyonun gelişmediği tespit edilmiştir. Olgumuz sonucunda, ileri derecede atrofik mandibula vakalarında anterior iliak krestten alınan otojen blok greft ile augmentasyonun, dental implant destekli protetik rehabilitasyon için güvenilirliğini koruyan bir tedavi yaklaşımı olduğu, bu tür geniş çaplı rekonstrüksiyonların literatürdeki retrospektif ve prospektif çalışma bulgularıyla da desteklendiği sonucuna ulaşılmıştır.
Anahtar kelimeler: Atrofik mandibula, iliak kemik grefti, dental implant, kemik rekonstrüksiyonu

MANDIBULAR RECONSTRUCTION WITH ILIAC BONE GRAFT AND DENTAL IMPLANT PLACEMENT IN A 35-YEAR-OLD PATIENT: A CASE REPORT

ABSTRACT
Prosthetic solutions for edentulous cases are advancing day by day. As implant-supported prostheses have become the most preferred treatment method today, dental implant surgery is becoming increasingly widespread. Atrophic jaws complicate implant planning due to insufficient bone width or height, directing patients and clinicians toward advanced surgical methods. Autogenous grafts are currently the most preferred option for augmentation in such cases. In this case report, based on the records of a 35-year-old patient operated on in our clinic, a case with severe mandibular atrophy was evaluated through dental implant placement following augmentation with an autogenous block graft harvested from the anterior iliac crest.

Under general anesthesia, a corticocancellous block graft obtained from the patient's iliac crest was adapted to the atrophic mandible and rigidly fixed with screws. Six months after the grafting procedure, once bone union was radiographically confirmed, a total of 12 dental implants were placed, 8 in the mandible and 4 in the maxilla. Clinical examination and panoramic radiographic follow-up performed 3 months after implant placement showed that the graft and implants were successfully integrated, with no complications such as bone loss, infection, graft resorption, or implant failure. As a result of our case, it was concluded that augmentation with an autogenous block graft from the anterior iliac crest in cases of severe mandibular atrophy remains a treatment approach that preserves reliability for implant-supported prosthetic rehabilitation, and that this outcome is supported by findings from retrospective and prospective studies in the literature on similarly extensive reconstructions.
Keywords: Atrophic mandible, iliac bone graft, dental implant, bone reconstruction

GİRİŞ

Diş kaybı sonrasında alveol kemiğinde başlayan rezorpsiyon süreci, hem vertikal hem de horizontal yönde ilerleyerek zaman içinde çenelerin destek dokularını ileri derecede zayıflatmaktadır. Cawood ve Howell (1988), 300 kuru kafatası üzerinde yaptıkları kesitsel çalışmada, mandibula ve maksillanın bazal yapısı görece stabil kalırken alveol çıkıntısının şeklindeki değişimin oldukça belirgin olduğunu ortaya koymuş ve dişsiz çeneler için altı sınıftan oluşan bir sınıflandırma önermişlerdir. Bu sınıflandırma, günümüzde rezidüel kretin tanımlanmasında ve uygun cerrahi-protetik tekniğin seçilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Dental implantlar, kısmi ve tam dişsiz hastaların rehabilitasyonunda rutin bir tedavi seçeneği hâline gelmiştir. Ancak implantın retansiyonu ve stabilitesi için yeterli rezidüel kemik hacmi zorunludur. Çene atrofisi, osteomiyelit veya tümör cerrahisi sonrası oluşan defektler ve travma sekelleri gibi durumlarda kemik hacmi implant yerleştirilmesi için yetersiz kalmakta; buna ek olarak inferior alveolar sinir, maksiller sinüs tabanı ve nazal taban gibi anatomik yapılara yakınlık, tedaviyi daha da güçleştirmektedir (Nguyen ve ark., 2019).

Yetersiz kemik hacmiyle karşılaşıldığında kısa implant kullanımı, yönlendirilmiş kemik rejenerasyonu, alveolar distraksiyon osteogenezi, otojen kemik grefti ve vaskülarize serbest flep ile rekonstrüksiyon gibi çeşitli yaklaşımlar gündeme gelmektedir (Chiapasco ve ark., 2006). Bu yöntemler arasında otojen kemik greftleri; osteojenik, osteoindüktif ve osteokondüktif özelliklerinin tümünü aynı anda taşımaları, immünojenik reaksiyon ve hastalık bulaşı riski içermemeleri nedeniyle uzun yıllardır altın standart olarak kabul edilmektedir (Sakkas ve ark., 2017).

Otojen greft için intraoral ve ekstraoral olmak üzere iki farklı donör bölge grubu bulunmaktadır. Mandibular simfiz, ramus, maksiller tüber ve koronoid çıkıntı gibi intraoral kaynaklardan elde edilen bloklar düşük rezorpsiyon oranlarına sahiptir; ancak her olguda ulaşılabilir olmamakta ve büyük defektler için yeterli hacmi sağlayamamaktadır (Aloy-Prósper ve ark., 2015). Geniş defektlerde iliak kanat, kalvaryum ve tibia gibi ekstraoral donör sahalarına başvurulması kaçınılmaz hâle gelmektedir.

Anterior iliak krest, sağladığı yüksek hacimdeki kortikokansellöz kemik ve içerdiği yüksek yoğunluklu multipotent hücreler nedeniyle geniş çaplı çene rekonstrüksiyonlarında en sık tercih edilen ekstraoral donör bölgedir (Nguyen ve ark., 2019). Bununla birlikte, iliak onley greftlerde

özellikle erken iyileşme döneminde belirgin bir dikey rezorpsiyon gözlenebilmektedir (Mertens ve ark., 2013; Sbordone ve ark., 2012). Bu nedenle greftin boyutlandırılması, rijit tespiti ve implantasyon zamanlaması tedavi başarısını doğrudan etkileyen faktörlerdir.

Greftleme ile implant yerleştirilmesinin eş zamanlı mı yoksa aşamalı mı yapılması gerektiği literatürde tartışmalıdır. Eş zamanlı yaklaşım cerrahi sayısını ve toplam iyileşme süresini azaltmakla birlikte, öngörülemeyen rezorpsiyon oranları nedeniyle primer stabilite ve protetik yönlendirme açısından dezavantajlı bulunabilmektedir. Buna karşın aşamalı protokolde, greftin iyileşmesi ve revaskülarizasyonu tamamlandıktan sonra yerleştirilen implantların entegrasyonunun daha stabil olduğu bildirilmiştir (Lundgren ve ark., 1999).

Bu çalışmanın amacı, ileri derecede atrofik mandibulaya sahip 35 yaşındaki bir hastada anterior iliak krestten alınan otojen blok greft ile gerçekleştirilen augmentasyonu ve altı ay sonra uygulanan iki aşamalı dental implant tedavisini sunmak; elde edilen klinik ve radyografik sonuçları güncel literatür ışığında tartışmaktır.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Olgu sunumu. Otuz beş yaşındaki erkek hasta, alt çenesindeki dişsizlik ve mevcut hareketli protezini kullanamama şikâyeti ile Hatay Mustafa Kemal Üniversitesi Diş Hekimliği Fakültesi Ağız, Diş ve Çene Cerrahisi Kliniği'ne başvurdu. Alınan anamnezde hastanın sistemik olarak sağlıklı olduğu, sigara kullanmadığı ve implant tedavisini engelleyecek herhangi bir kontrendikasyonunun bulunmadığı belirlendi.

Klinik muayenede alt çenede tam dişsizlik ve belirgin kret yetersizliği izlendi. Panoramik radyografi ve konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT) incelemesinde mandibular alveol kretinin hem dikey hem de yatay boyutta ileri derecede rezorbe olduğu, mevcut kemik hacminin standart boyutlarda implant yerleştirilmesine izin vermediği saptandı. Radyolojik değerlendirmede olgu, Cawood ve Howell (1988) sınıflandırmasına göre ileri atrofi kategorisinde değerlendirildi. Hastaya mevcut tedavi seçenekleri, otojen greft ile augmentasyonun gerekliliği, donör saha morbiditesi ve tedavinin aşamaları ayrıntılı olarak anlatıldı; yazılı ve sözlü onamı alındı.

Cerrahi işlem. Rekonstrüksiyon işlemi genel anestezi altında gerçekleştirildi. Anterior iliak kanat üzerinden yapılan insizyonu takiben yumuşak dokular ve periost diseke edilerek krest ekspoze edildi. Salin irigasyonu eşliğinde ve düşük devirde çalışan osteotomlar ile uygun boyutta kortikokansellöz blok greftler elde edildi. Donör saha hemostazı sağlandıktan sonra katmanlar hâlinde primer olarak kapatıldı.

Alıcı sahada intraoral yaklaşımla kret tepesinden yapılan insizyonu takiben tam kalınlık mukoperiostal flep kaldırılarak atrofik mandibular kret açığa çıkarıldı. Alıcı yatakta kanlanmayı artırmak amacıyla küçük çaplı ronjur frezi ile kortikal perforasyonlar oluşturuldu. Elde edilen blok greftler alıcı sahanın anatomik konturuna uyacak şekilde şekillendirildi ve hem bukkal hem lingual bölgeye adapte edilerek titanyum vidalarla rijit olarak tespit edildi. Bloklar arasında kalan boşluklar, hazırlanan partiküle otojen kemik ile dolduruldu. Gerilimsiz primer kapanma sağlamak amacıyla periost gevşetici insizyonlar uygulandıktan sonra flep primer olarak sütüre edildi.

Postoperatif dönemde hastaya antibiyotik, analjezik ve antiseptik gargara reçete edildi; ilk üç

hafta boyunca bölgeye protez uygulanmaması ve yumuşak diyet önerildi. Erken postoperatif dönemde greft ekspozisyonu, enfeksiyon veya yara ayrılması gözlenmedi. Donör sahada kalıcı ağrı, yürüme güçlüğü veya duyu bozukluğu gelişmedi.

İmplantasyon aşaması. Greftleme işleminden altı ay sonra yapılan klinik ve radyografik değerlendirmede greftin alıcı sahaya tam olarak entegre olduğu, radyolüsensi bulunmadığı ve implant yerleştirilmesine olanak verecek kemik hacminin sağlandığı doğrulandı. İkinci cerrahi seansta aynı insizyon hattı kullanılarak flep kaldırıldı, tespit vidaları çıkarıldı ve frezleme sırasında greft bölgesinden kanama görülmesi greftin canlılığının klinik göstergesi olarak kabul edildi. Protetik planlamaya uygun olarak mandibulaya 8, maksillaya 4 olmak üzere toplam 12 dental implant yerleştirildi. Tüm implantlarda primer stabilite sağlandı ve kapama vidaları bağlanarak flep primer olarak kapatıldı.

Bulgular. İmplant uygulamasından üç ay sonra yapılan klinik muayenede peri-implant dokularda ödem, kızarıklık, süpürasyon veya fistül izlenmedi; tüm implantlarda perküsyona ağrısız yanıt alındı ve mobilite saptanmadı. Panoramik radyografik değerlendirmede implantların çevresinde radyolüsent alan bulunmadığı, greft yüksekliğinin korunduğu ve marjinal kemik seviyelerinin implant platformu düzeyinde stabil kaldığı gözlendi.

Misch ve ark. (2008) tarafından tanımlanan ICOI Pisa Konsensüs ölçütleri esas alındığında, olgumuzda ağrı, mobilite, kontrol edilemeyen eksuda veya implant uzunluğunun yarısını aşan radyografik kemik kaybı gibi başarısızlık kriterlerinden hiçbiri gözlenmemiştir. Buna göre 12 implantın tamamı takip döneminde sağ kalmış olup implant sağ kalım oranı %100 olarak belirlenmiştir. Greft başarısı da benzer şekilde ekspozisyon, enfeksiyon ve radyolüsensi bulunmaması ölçütleri üzerinden %100 olarak değerlendirilmiştir. Hasta, fonksiyonel ve estetik beklentilerinin karşılandığını bildirmiş ve protetik rehabilitasyon aşamasına yönlendirilmiştir.

Tartışma. Elde edilen sonuçlar literatürdeki bulgularla uyumludur. Nguyen ve ark. (2019), iliak onley greft uygulanan yedi hastada ortalama 50 aylık takip süresinde greft başarı oranını %100, 29 implant için sağ kalım oranını ise %96,56 olarak bildirmişlerdir. Boven ve ark. (2014), ileri derecede atrofik mandibulaya iliak onley greft ve endosteal implant uygulanan olgularda ortalama 69 aylık takipte mandibula için %92 başarı oranı ve on yıl sonunda ortalama 1,8 mm krestal kemik kaybı saptamıştır. Verhoeven ve ark. (1997) da benzer şekilde, ileri atrofik mandibulada endosteal implant ile iliak krest onley greftinin birlikte kullanımının uzun dönemde güvenilir sonuçlar verdiğini göstermiştir.

İliak greftlerin en önemli dezavantajı, özellikle ilk yıl içinde belirginleşen rezorpsiyondur. Nguyen ve ark. (2019) beş yıllık takipte ortalama rezorpsiyon oranını %42,5 olarak bildirmiş; rezorpsiyonun büyük bölümünün rekonstrüksiyonu izleyen ilk yılda gerçekleştiğini, ikinci yıldan sonra anlamlı bir değişim olmadığını vurgulamıştır. Mertens ve ark. (2013) da dikey augmentasyon sonrası erken dönem rezorpsiyonun kalvaryal greftlere kıyasla iliak greftlerde daha belirgin olduğunu göstermiştir. Bu nedenle greftin, beklenen rezorpsiyon payını karşılayacak şekilde bir miktar büyük boyutlandırılması ve blokların rijit olarak tespit edilmesi önerilmektedir. Olgumuzda blokların titanyum vidalarla immobilize edilmesi, blok araları ve çevresindeki boşlukların partiküle otojen kemikle doldurulması ve alıcı yatakta kortikal perforasyon uygulanması, greft-alıcı saha temasını ve kanlanmayı artırmaya yönelik uygulamalar olmuştur.

İmplantasyon zamanlaması açısından, olgumuzda altı aylık iyileşme süresi sonunda uygulanan aşamalı protokol tercih edilmiştir. Lundgren ve ark. (1999), serbest otojen iliak greftlerde gecikmeli implant yerleştirilmesinin kemik-implant ara yüzeyi açısından daha uygun sonuçlar verdiğini histolojik olarak göstermiştir. Nguyen ve ark. (2019) da implantasyonun rekonstrüktif cerrahiden 3–6 ay sonra planlanmasını, aşırı uzun bekleme sürelerinin ise greftin fonksiyonel yükleme yokluğunda rezorpsiyonunu artırabileceğini belirterek önermektedir. Olgumuzdaki altı aylık süre bu aralıkla uyumludur.

Uzun dönem başarının yalnızca osseointegrasyona değil, aynı zamanda yumuşak doku entegrasyonuna ve oklüzal yüklemenin kontrolüne de bağlı olduğu bilinmektedir. Bu nedenle hastanın protetik rehabilitasyon sonrasında düzenli aralıklarla kontrole çağrılması, ağız hijyeni eğitiminin tekrarlanması ve oklüzyonun periyodik olarak değerlendirilmesi planlanmıştır. Olgumuzun takip süresinin üç ay ile sınırlı olması çalışmanın en önemli kısıtlılığıdır; greft rezorpsiyonunun ve marjinal kemik kaybının seyri ancak uzun dönemli izlemle net biçimde ortaya konabilecektir.

SONUÇ

İleri derecede atrofik mandibula, dental implant destekli protetik rehabilitasyonun önündeki en önemli engellerden biri olmayı sürdürmektedir. Sunulan olguda, anterior iliak krestten elde edilen otojen kortikokansellöz blok greft ile gerçekleştirilen augmentasyon sonrasında altı aylık iyileşme süresini takiben yerleştirilen 12 dental implantın tamamı, üç aylık kontrol döneminde herhangi bir komplikasyon gelişmeksizin başarılı şekilde entegre olmuştur.

Bu sonuçlar, geniş hacimli kemik gereksinimi bulunan olgularda anterior iliak krestin güvenilir bir donör saha olduğunu ve aşamalı protokolle uygulanan iliak blok greft–dental implant kombinasyonunun öngörülebilir bir tedavi yaklaşımı olduğunu desteklemektedir. Bununla birlikte, iliak greftlerde erken dönemde gözlenen rezorpsiyon dikkate alınarak greftin boyutlandırılması, rijit tespiti ve implantasyon zamanlaması titizlikle planlanmalıdır.

Olgumuzun takip süresinin kısa olması nedeniyle, greft rezorpsiyonunun ve peri-implant marjinal kemik seviyelerinin uzun dönemdeki seyrinin değerlendirilebilmesi için hastanın izlemine devam edilmesi ve benzer olguların daha geniş serilerle, uzun süreli prospektif çalışmalarla incelenmesi gerekmektedir.

KAYNAKÇA

Aloy-Prósper, A., Peñarrocha-Oltra, D., Peñarrocha-Diago, M. A., & Peñarrocha-Diago, M. (2015). The outcome of intraoral onlay block bone grafts on alveolar ridge augmentations: A systematic review. *Medicina Oral, Patología Oral y Cirugía Bucal, 20*(2), e251–e258. https://doi.org/10.4317/medoral.20194

Boven, G. C., Meijer, H. J. A., Vissink, A., & Raghoebar, G. M. (2014). Reconstruction of the extremely atrophied mandible with iliac crest onlay grafts followed by two endosteal implants: A retrospective study with long-term follow-up. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 43*(5), 626–632. https://doi.org/10.1016/j.ijom.2013.11.003

Cawood, J. I., & Howell, R. A. (1988). A classification of the edentulous jaws. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 17*(4), 232–236. https://doi.org/10.1016/S0901-5027(88)80047-X

Chiapasco, M., Zaniboni, M., & Boisco, M. (2006). Augmentation procedures for the rehabilitation of deficient edentulous ridges with oral implants. *Clinical Oral Implants*

Research, 17(Suppl. 2), 136–159. https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2006.01357.x

Fretwurst, T., Nack, C., Al-Ghrairi, M., Raguse, J. D., Stricker, A., & Schmelzeisen, R. (2015). Long-term retrospective evaluation of the peri-implant bone level in onlay grafted patients with iliac bone from the anterior superior iliac crest. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery, 43*(6), 956–960. https://doi.org/10.1016/j.jcms.2015.03.037

Lundgren, S., Rasmusson, L., Sjöström, M., & Sennerby, L. (1999). Simultaneous or delayed placement of titanium implants in free autogenous iliac bone grafts: Histological analysis of the bone graft-titanium interface in 10 consecutive patients. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 28*(1), 31–37. https://doi.org/10.1016/S0901-5027(99)80673-0

Mertens, C., Decker, C., Seeberger, R., Hoffmann, J., Sander, A., & Freier, K. (2013). Early bone resorption after vertical bone augmentation: A comparison of calvarial and iliac grafts. *Clinical Oral Implants Research, 24*(7), 820–825. https://doi.org/10.1111/j.1600-0501.2012.02463.x

Misch, C. E., Perel, M. L., Wang, H. L., Sammartino, G., Galindo-Moreno, P., & Trisi, P. (2008). Implant success, survival, and failure: The International Congress of Oral Implantologists (ICOI) Pisa Consensus Conference. *Implant Dentistry, 17*(1), 5–15. https://doi.org/10.1097/ID.0b013e3181676059

Nguyen, T. T. H., Eo, M. Y., Kuk, T. S., Myoung, H., & Kim, S. M. (2019). Rehabilitation of atrophic jaw using iliac onlay bone graft combined with dental implants. *International Journal of Implant Dentistry, 5*, Article 11. https://doi.org/10.1186/s40729-019-0163-9

Sakkas, A., Wilde, F., Heufelder, M., Winter, K., & Schramm, A. (2017). Autogenous bone grafts in oral implantology—Is it still a "gold standard"? A consecutive review of 279 patients with 456 clinical procedures. *International Journal of Implant Dentistry, 3*, Article 23. https://doi.org/10.1186/s40729-017-0084-4

Sbordone, C., Toti, P., Guidetti, F., Califano, L., Santoro, A., & Sbordone, L. (2012). Volume changes of iliac crest autogenous bone grafts after vertical and horizontal alveolar ridge augmentation of atrophic maxillas and mandibles: A 6-year computerized tomographic follow-up. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery, 70*(11), 2559–2565. https://doi.org/10.1016/j.joms.2012.07.040

Shirani, G., Hashemi Nasab, M., Bashiri, S., & Kordi, S. (2023). Survival rate and cervical bone loss of dental implants placed in regenerated areas with free iliac graft. *Journal of Dentistry (Shiraz), 24*(1), 53–59. https://doi.org/10.30476/DENTJODS.2022.90184.1474

Verhoeven, J. W., Cune, M. S., Terlou, M., Zoon, M. A., & de Putter, C. (1997). The combined use of endosteal implants and iliac crest onlay grafts in the severely atrophic mandible: A longitudinal study. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, *26*(5), 351–357. https://doi.org/10.1016/S0901-5027(97)80796-5

BİYOMİMETİK YAKLAŞIMLARIN TEKSTİL TASARIMINDAKİ YANSIMALARI

Asst. Prof. Şeyma KANARA
Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Faculty of Fine Arts, Department of Textile and Fashion Design, Kahramanmaraş, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-0596-3311
Assoc. Prof. Dr Mustafa Oğuz GÖK
Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Faculty of Fine Arts, Department of Textile and Fashion Design, Kahramanmaraş, Turkey
ORCID ID: 0000-0003-1269-5228

ÖZET
Günümüzde daha sürdürülebilir bir yaşam amacıyla doğayı taklit eden; tıp, mimarlık, mühendislik, tasarım ve sanat gibi bir çok alanda ekolojik standartları kullanan 'Biyomimetik 'kavramı karşımıza çıkmaktadır[1].
'Biyomimetik' terimi ilk olarak 1969 yılında Otto H. Schmitt tarafından ifade edilmiştir. Kelime 'bios' (yaşam) ve 'mimesis' (taklit etme) anlamlarına gelen kelimelerden oluşmaktadır[2]. Biyomimetik tasarım, doğada milyonlarca yıllık evrimsel süreç sonucunda ortaya çıkan yapı, işlev ve sistemlerin incelenerek tasarım problemlerine yenilikçi çözümler geliştirilmesini sağlayan disiplinlerarası bir yaklaşımdır.
Biyomimetik tasarımda ana fikir 'doğadan öğrenme'dir. Doğadaki bütün canlıların karşılaştıkları problemlere karşı geliştirdikleri çözümler tasarımcıları çözüm arayışlarında doğadan öğrenme ve doğayı taklit etme gibi yaklaşımlara yönlendirmiştir. Multidisipliner alanlarda da bu yaklaşımlar kabul görmüş ve gelişimini sürdürmüştür[2, 3].
Tekstil tasarımı alanında biyomimetik yaklaşım ise canlıların yüzey özellikleri, lif yapıları, hareket mekanizmaları, ısı ve nem yönetimi gibi doğal işlevlerin tekstil malzemelerine ve yüzeylerine uyarlanmasına olanak sağlamaktadır. Tekstilde tasarım açısından değerlendirildiğinde bu yaklaşım lif, iplik, kumaş ve yüzey tasarımından giysi sistemlerine kadar farklı ölçeklerde uygulanabilme avantajına sahip olmaktadır.
Bu bağlamda çalışma, biyomimetik alanındaki güncel araştırma konularına odaklanmakta ve biyomimetik tekstil tasarımının mevcut potansiyelini tartışmaktadır. Tasarımcıların disiplinlerarası iş birliği ve sistematik bir biyomimetik yaklaşımı ile, tekstil tasarımında yeni teknik çözümlerin geliştirilmesi amaçlanmaktadır.
Anahtar kelimeler: Biyomimetik, Tekstil Tasarımı, Sürdürülebilir Tekstiler, Multidisipliner Yaklaşımlar.

REFLECTIONS OF BIOMIMETIC APPROACHES IN TEXTILE DESIGN

ABSTRACT
Today, the concept of biomimetics, which aims to promote a more sustainable way of living by imitating nature and incorporating ecological principles into various fields such as medicine, architecture, engineering, design, and art, has become increasingly prominent [1].
The term "biomimetics" was first introduced by Otto H. Schmitt in 1969. The word is derived from the Greek words *"bios"* (life) and *"mimesis"* (imitation) [2]. Biomimetic design has emerged as an interdisciplinary approach that examines structures, functions, and systems developed in nature through millions of years of evolutionary processes and uses these insights

to develop innovative solutions to design problems.
In biomimetic design, the main idea is “learning from nature.” The solutions developed by living organisms in response to the problems they encounter have led designers to adopt approaches such as learning from and imitating nature in their search for innovative solutions. These approaches have also been embraced and further developed across multidisciplinary fields [2, 3].
In the field of textile design, the biomimetic approach enables the adaptation of natural functions such as the surface properties of living organisms, fiber structures, movement mechanisms, and heat and moisture management—to textile materials and surfaces. From a textile design perspective, this approach offers the advantage of being applicable at different scales, ranging from fiber, yarn, fabric, and surface design to garment systems.
In this context, the study focuses on current research topics in the field of biomimetics and discusses the existing potential of biomimetic textile design. Through interdisciplinary collaboration among designers and the systematic application of a biomimetic approach, the study aims to contribute to the development of new technical solutions in textile design.
Keywords: Biomimetics, Textile Design, Sustainable Textiles, Multidisciplinary Approaches

GİRİŞ

Günümüzde, farklı bilim alanlarıyla kurulan bağlar sonucu hayata geçirilen disiplinlerarası çalışmalar sayesinde daha önce hayal edilemeyen yeni teknik ve materyaller geliştirilmektedir. Bu süreçle beraber laboratuvar ortamında veya kontrollü ekosistemlerde geliştirilen hayvansal, bitkisel ve hücresel materyaller, günümüz konvansiyonel tasarım anlayışını yeni bir platforma taşımıştır. Bu dönüşüm, sürdürülebilirlik kavramı altında yenilenemeyen fosil kaynaklar yerine **biyomateryal** kullanımını küresel bir zorunluluk haline getirmektedir.
Biyoloji ve tasarım arasında hibrit bir alan oluşturan **biyotasarım**, doğayı sadece uzaktan taklit etmekle kalmaz; canlı organizmaları (bakteriler, mantarlar, algler) doğrudan tasarım sürecinin birer aktif üreticisi haline getirmektedir. Doğa, bilim ve tasarımı ortak paydada ele alan biyotasarım, sürdürülebilirlik hassasiyeti içerisinde kendi kendini büyütebilen, onarabilen ve doğada tamamen çözünebilen biyomateryal oluşumunu içinde barındıran devrimsel bir anlayış biçimini ifade etmektedir[4]. Birleşmiş Milletler Ticaret ve Kalkınma Konferansı'na (UNCTAD) göre, moda endüstrisi yılda yaklaşık 93 milyar metreküp su kullanmaktadır. Dahası, tekstil süreçlerinin küresel olarak temiz suyun en büyük ikinci kirleticisi olduğu tahmin edilmektedir[5]. Bu bağlamda, tekstil ürününlerinin üretiminde işk şamadan son aşamaya kadar bu materyaller kullanılarak işlem yapılması önem arz etmektedir. Birleşmiş Milletlerin 2023 vizyonuna göre, tekstil ürünlerinin üretiminden tasarımına kadar her aşamada sürdürülebilirlik ilkesini baz alarak üretimi planlaması geleceğimiz açısından hayati öneme sahip olmaktadır.
Yaşadığımız hareketli ve gelişen dünya, kendini dönüştürebilen, uyum sağlayabilen, katlanabilen, uyaranlara tepki verebilen ve canlı organizmalar ve biyotasarım ile iş birliği yoluyla çevreyle etkileşime girebilen yeni bir maddeselliğe yansımaktadır. Yeni diller, estetik ve etkileşimler, incelenip kullanıldığında, ürünlerin ortaya çıkmasında radikal bir değişime yol açabilme potansiyeline sahiptir. Biyotasarım yaklaşımı, onu sadece problem çözme olarak ele almanın ötesine geçmeli, tasarım sürecini yeniden inşa etmenin ve ürünlerin ortaya çıkışının bazı yönlerini (örneğin bozulma, zamansallık, kişiselleştirme ve imha) yeniden düşünmenin temeli olabilmektedir[6].

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Biyotasarım, bilimle kesişen, insan ve doğa arasında yeni işbirliklerinin oluşturulduğu bir tasarım pratiğidir (Mayers & Antonelli, 2018). Biyo Tasarım, biyolojik sistemleri ve süreçleri

tasarıma entegre etmeye yönelik yeni bir yaklaşımı temsil eder; doğal ve yapay arasındaki geleneksel sınırları zorlar[3]Tekstil ve moda alanındaki uygulamaları farklı ölçeklerde yüksek düzeyde yenilik oluşturabilmektedir.

Biyomimetik tasarım örnekleri doğanın yapı, işlev ve biçimlerinden esinlenen farklı özelliklere sahip tasarımlarından oluşmaktadır. Giysi tasarımcıları için bir ürünün form olarak tasarlanmasının yanı sıra, malzeme olarak doğaya zararı olmayan seçimlerde bulunulması sürdürülebilirliğin zorunluluk haline geldiği günümüzde tasarım niteliğini arttıran en önemli faktörlerden biri haline gelmektedir[7].

Günümüzde tekstil ve giysi tasarım alanında hızla yaygınlaşan “biyofabrike” (biofabricated) malzeme sınıfı, fermantasyon, maya ve maya mühendisliği, bakteri, mantar, alg, kültür ve memeli hücreler gibi yaşayan materyaller yetiştirilen ve tasarlanan bir alan olarak tanımlanmaktadır (Healyhy Materials Lab, 2020). Bu çerçevede üretilen malzemeler, Mironov’un öngörüsünü doğrular şekilde, alternatif estetik ve fonksiyonel özellikleri içinde barındırmaktadır[7].

Bu kategoriyle ilgili yeni bir yaklaşım, biyolojik üretim olarak bilinmektedir. Bu süreçlerde, malzemeler ve lifler tamamen doğal olmakla kalmaz, aynı zamanda üretimlerinin etkisi sıfıra yakındır. Çünkü kelimenin tam anlamıyla canlı organizmalar tarafından üretilme avantajına sahiptirler.

Doğal liflerin yeniden keşfedilmesinin yanı sıra, bitkilerden ve organik boyuttan, tarımsal gıda zincirinin kalıntılarının yeniden kullanımından, portakal kabuğundan elde edilen iplikten üzüm kabuğuna, alg ve otların kullanımından yararlanan çok farklı malzemeler bulunmaktadır.

Farklı çalışmalarda bu malzemelerden hem biyolojik olarak parçalanabilen hem de toprağa sağlıklı maddeler salan tekstil ürünleri de üretildiği görülmektedir. Aleksandra Gosiewski tarafından üretilen ve sadece biyolojik olarak parçalanabilir olmakla kalmayıp aynı zamanda toprağa sağlıklı maddeler salan bir iplik olan Algiknit bunun birer örneğidir.

Camere ve Karana (2018) çalışmasında, canlı sistemlerin doğal özelliklerinden yararlanan düşük enerjili süreçlerin kullanımıyla, büyüyen tasarım veya biyoteknolojik üretimin, "sadece çevreye zararsız ve biyolojik olarak parçalanabilir olmakla kalmayıp, aynı zamanda ömrünün sonunda yeni malzemelerin yetiştirilmesini bile destekleyebilen" bir süreç ve sonuç malzemeleri sunduğunu açıklamaktadır [8]. Gelecekte bu tür malzemelerin işlevselliğini anlamlı uygulamalar yoluyla çok daha genişletebileceğini ve geliştirebileceği öngörülmektedir. Bu alanda literatürde en çok kullanılan malzemelerin algler, bakteriler, mantarlar, maya ve bitkilerin olduğu görülmektedir [9]. Bu açıdan iplikten boyama işlemine, aksesuardan giysilere kadar farklı üretim tiplerinde kolaylıkla kullanıldığı tespit edilmiştir.

Tablo 1. Biyomalzemelerin kullanım alanları ve diğer özellikleri [5]

Table 1. Final selection of material case studies.

	MATERIAL	END OF LIFE	APPLICATION	MIMICS	LOCATION	PROCESS
ALGAE	Algae ink™	Compostable	Dye	Conventional dye	United Kingdom	Made from algae pulp
	Algaemy	Unknown	Dye	Conventional dye	Germany	Made from microalgae
	AlgiKnit	Biodegradable	Yarn	Conventional yarn	USA	Unknown
	Biogarmentry	Unknown	Clothes	Conventional fabric	Netherlands	Lab made
	BLOOM	Non-recyclable	Accessories	Rubber	USA	Unknown
MYCELIUM	Reishi™	Biodegradable	Accessories	Leather	USA	Lab made
	Forager™	Unknown	Accessories	Leather	USA	Lab made
	Pura by Mogu	Unknown	Accessories	Leather	Italy	Lab made
	MycoTEX®	Unknown	Accessories/ Clothes	Leather	Netherlands	3D manufacturing
	Mylo™	Non-recyclable	Accessories	Leather	USA	Lab made
BACTERIA	Malai	Unknown	Accessories	Leather	India	Bacteria grown from coconut water
	Pili	Unknown	Dye	Conventional dye	France	Fermentation
	Faberfutures	Unknown	Dye	Conventional dye	United Kingdom	Fermentation
	Texticel	Compostable	Accessories	Leather	Brazil	Lab made
BACTERIA & YEAST	Biocouture	Compostable	Accessories/ Clothes	Leather	USA	Lab made
	bioLogic	Non-recyclable	Accessories	Leather	USA	Lab made
YEAST	Microsilk™	Biodegradable	Clothes	Silk	USA	Protein made from yeast
	Texticel	Compostable	Accessories	Leather	Brazil	Lab made
	Biocouture	Compostable	Accessories/ Clothes	Leather	USA	Lab made
PLANTS	Piñatex®	Partially biodegradable	Accessories	Leather	United Kingdom / Philippines	Coated non-woven fabric
	Brewed Protein™	Testing stage	Clothes	Wool	Japan/ Thailand	Fermentation
	Orange Fiber	Biodegradable	Clothes	Lyocell	Italy	Cellulose extraction
	SweetFoam™	Biodegradable	Accessories/ Footwear	Rubber	Brazil	Cellulose extraction
	Bananatex®	Biodegradable	Accessories	Canvas	Switzerland / Taiwan/ Philippines	Cellulose extraction

Tablo 1'de verilen malzemelerin çoğu, moda sektöründe yaygın olarak kullanılan ve daha az sürdürülebilir malzemelerin potansiyel alternatifleri olarak kullanılabileceğini ortaya koymaktadır[5].

Tabloda kökenlerine göre gruplandırılmış 24 biyolojik bazlı ve biyolojik olarak üretilmiş malzemeler verilerek malzemelerin kökeni ve potansiyelleri hakkında ayrıntılar verilmiştir. Buradaki amaç, bu üretime yönlendirilme aşamasında toplumsal faydalar konusunda farkındalığı artırmak ve tasarım aşamasında bu malzemeleri moda endüstrisinde kullanıma teşvik etmektir.

Biyomalzemeleri kullanarak üretilen ürünlerde, Adidas'ın en yeni konsept ayakkabısı olan Stan Smith Mylo™, mantardan elde edilen deri alternatifi olarak üretilmiştir. Filamentli mantarların (miselyum) vejetatif büyümesinin, çeşitli moda ve spor giyim ürünlerine dönüştürülebilecek malzeme levhalarına dönüştürülmesiyle geliştirildiği belirtilmiştir.

Bu alanda başka bir çalışmada Freitag'ın Fabric projesi öne çıkmaktadır. Bitkilerden elde edilen selüloz liflerinden yapılmış bir koleksiyon geliştirmişlerdir. Ürünlerin, toksik işlemler veya ağartıcı kullanılmadan üretilmesi; bu sayede toprağa karışıp çürüyerek yeni hammaddeler için verimli toprak haline gelmesi çalışmanın farkını ortaya koymaktadır[5].

Tasarımcı Suzanne Lee'nin biocouture çalışmasında ise, deri benzeri bir malzeme üretmek için bakteri ve mayanın fermantasyon süreci kullanılmaktadır ve bu malzeme giysiler, ceketler ve ayakkabılar üretmek için kullanılmaktadır.

Son araştırmalara göre kumaşların toksik kimyasallarla boyanması, işlenmesi ve hammaddelerin yetiştirilmesi için pestisitlerin uygulanması nedeniyle tüm kirliliğin %20' yi kapsamaktadır[5].

Bu bağlamda boyama için örnekler deneysel aşamayı aşarak, her anlamda pazara girmiştir:

Puma'nın Living Colours serisi bunun bir örneğidir. Projede, spor koleksiyonu için kumaşları boyamak amacıyla bazı bakterilerin büyüme sürecinden elde edilen mor pigmentler kullanılmıştır ve giyim üretiminde en çok kirliliğe neden olan geleneksel kimyasal boyamadaki toksik kimyasal kullanım sorunu ortadan kaldırılmıştır.
Başka bir çalışmada ise Laura Luchtman ve ekibi, doğal ve pigment üreten bakteriler ile ilgili çalışma yapmışlardır [5]. Canlı organizmalarla üretimin, özellikle sektördeki en toksik olduğu bilinen boyama işlemleri olmak üzere geleneksel çalışma tekniklerinin yerini alacağı açıktır.
Son yapılan çalışmalar canlı organizmaların tasarımcılar tarafından daha fazla ekolojik yönlere odaklanan alternatif tasarım çözümlerine odaklanıldığı görülmektedir. Canlı organizmalardan yeni malzemelerin veya tasarım bileşenlerinin geliştirilmesi ve üretimi; ölçek, çok katmanlı kısıtlamalar ve gereksinimler nedeniyle, mimarlık ve inşaat sektörlerine kıyasla tekstil, moda veya ürün tasarımında çok daha kolay gerçekleştirilebilmektedir[9].

SONUÇ

Bu çalışma, daha sürdürülebilir tekstil üretimine yönelik doğru kalıcı ve etkili bir geçişi desteklemek için olası alternatif biyolojik bazlı ve biyolojik olarak üretilmiş malzemelerin bir panoramasını araştırmaya odaklanmaktadır.
Bu yaklaşımla, sürdürülebilirlik ve biyolojik üretim alanındaki son teknolojik gelişmeleri yalnızca tekstil sektöründeki üretim ve süreçlere alternatif olarak değil, aynı zamanda estetik ve anlamsal açıdan potansiyelini de araştırmak amacıyla yapılmaktadır.

KAYNAKÇA

Baydemir, A., & Bıyıklı, N. E. (2021). Biyotekstillerin yenilikçi malzeme olarak hazır giyim endüstrisinde kullanımı. *SDÜ Art-E Güzel Sanatlar Fakültesi Sanat Dergisi, 14*(27).
Chayaamor-Heil, N., Houette, T., Demirci, Ö., & Badarnah, L. (2024). The potential of co-designing with living organisms: Towards a new ecological paradigm in architecture. *Sustainability, 16*, 673. doi:10.3390/su16020673
Dade-Robertson, M., & Zhang, M. (2024). Theory and design in the biotechnical age: A schematic understanding of Bio Design and Synthetic Biology practice. *The Design Journal, 27*(5), 800–822. doi:10.1080/14606925.2024.2381914
Gesso, C. D. (n.d.). *Sustainable fashion from material to immaterial through biodesign*. Pad #20 Fashion and Textile Design Reconstruction.
Gümüşer, T. (2017). The visibility of biomimetic science inspired by biological structures in textile and apparel design. *Yıldız Journal of Art and Design, 4*(2), 128–142.
Ivanova, N. (n.d.). *Fungi for material futures: The role of design*.
Rognoli, V., Petreca, B., Pollini, B., & Saito, C. (2022). Materials biography as a tool for designers' exploration of bio-based and bio-fabricated materials for the sustainable fashion industry. *Sustainability: Science, Practice and Policy, 18*(1), 749–772. doi:10.1080/15487733.2022.2124740
Shanko, S. C., Rahman, M. M., & Khan, M. S. (2026). A perspective on process intensification in the textile industry: A pathway towards sustainable apparel sector. *Chemical Engineering & Processing: Process Intensification, 219*, 110630.
Yıldız, H. (2012). *Endüstri ürünleri tasarımı kapsamında biyomimetik tasarımın yeri ve metodolojisi* [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Endüstri Ürünleri Tasarımı Anabilim Dalı].

TEKNİK TEKSTİLLERİN SÜRDÜRÜLEBİLİRLİĞİ VE İNOVASYON

Asst. Prof. Şeyma KANARA
Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Faculty of Fine Arts, Department of Textile and Fashion Design, Kahramanmaraş, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-0596-3311
Prof. Dr. Suat ÇETİNER
Kahramanmaras Sutcu Imam University, Department of Textile Engineering, Kahramanmaras, Türkiye, Kahramanmaraş, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-6604-145X

ÖZET
Son yıllarda insanlığın karşı karşıya kaldığı iklim krizi, sürdürülebilirlik kavramını küresel ölçekte öncelikli gündemlerden biri hâline getirmiştir. Bu süreçte, fazla kaynak tüketimi, atık oluşumu ve çevresel etkileri dikkate alındığında, teknik tekstillerin mevcut üretim modellerinin yeniden değerlendirilmesi ve sürdürülebilir üretim yaklaşımlarının geliştirilmesi büyük önem taşımaktadır.
Teknik tekstillerin tanımı, The Textile Instıtute tarafından yayınlanan Textile Terms and Definitions kitabında "estetik veya dekoratif özelliklerden ziyade esasen sahip oldukları teknik ve performans özellikleri için imal edilen tekstil materyalleri ve ürünleri" olarak yapılmaktadır [1].
Tekstil sektörünün çevresel etkisinin azaltılması yalnızca üretim aşamasındaki kaynak tüketiminin sınırlandırılmasıyla değil, aynı zamanda ürünlerin tüm yaşam döngüsünün sürdürülebilirlik perspektifiyle ele alınmasıyla mümkün olacaktır. Bu doğrultuda, sürdürülebilir malzeme ve üretim teknolojilerinin geliştirilmesi; atıkların kaynağında azaltılması, yeniden kullanım ve geri dönüşüm olanaklarının artırılması ve üretim süreçlerinin kaynak verimliliği temelinde yeniden yapılandırılması açısından kritik bir rol oynamaktadır.
Sürdürülebilir teknik tekstiller konusunda yapılan değerlendirmeler, tekstil sektörünün yalnızca üretim performansına değil, aynı zamanda çevresel ve ekonomik sürdürülebilirliğe de odaklanması gerektiğini göstermektedir. Bununla birlikte, teknik tekstillerde sürdürülebilir malzemelerin yüksek dayanıklılık, güvenlik ve işlevsellik gereksinimlerini karşılaması gerekmektedir. Bu nedenle gelecekte sürdürülebilir teknik tekstillerin geliştirilmesi için şimdiden somut adımlar atılmalı, yenilikçi malzemeler, çevre dostu üretim teknolojileri ve döngüsel ekonomi yaklaşımının birlikte ele alınması gerekmektedir.
Bu çalışma kapsamında, teknik tekstillere yönelik sürdürülebilir yaklaşımlar konusunda kullanılabilecek sürdürülebilir malzemeler ve sürdürülebilir yöntemler mevcut literatür taraması ile derlenerek analiz edilmiştir. Sürdürülebilir üretim yaklaşımlarının teknik tekstiller alanında yaygınlaştırılması, sektörün çevresel ayak izinin azaltılmasına katkı sağlarken, aynı zamanda yenilikçi ve döngüsel üretim modellerine geçiş için gerekli dönüşümün gerçekleştirilmesini destekleyecektir.
Anahtar Kelimeler: *Sürdürülebilir Malzemeler, Sürdürülebilir Üretim Yöntemleri, Teknik Tekstiller*

THE SUSTAINABILITY AND INNOVATION IN TECHNICAL TEXTILES

ABSTRACT
In recent years, the climate crisis facing humanity has made sustainability one of the key priorities on the global agenda. In this context, considering the high resource consumption, waste generation, and environmental impacts associated with technical textiles, it has become

increasingly important to reassess existing production models and develop sustainable production approaches.
Reducing the environmental impact of the textile industry requires not only limiting resource consumption during the production stage but also addressing the entire life cycle of textile products from a sustainability perspective. In this regard, the development of sustainable materials and production technologies plays a critical role in reducing waste at its source, enhancing opportunities for reuse and recycling, and restructuring production processes based on resource efficiency.
Reducing the environmental impact of the textile industry is possible not only by limiting resource consumption during the production phase, but also by addressing the entire life cycle of products from a sustainability perspective. In this regard, the development of sustainable materials and production technologies plays a critical role in reducing waste at the source, increasing reuse and recycling opportunities, and restructuring production processes based on resource efficiency.
Assessments of sustainable technical textiles show that the textile industry should focus not only on production performance but also on environmental and economic sustainability. Furthermore, sustainable materials in technical textiles must meet high durability, safety, and functionality requirements. Therefore, concrete steps should be taken now to develop sustainable technical textiles for the future, and innovative materials, environmentally friendly production technologies, and a circular economy approach should be considered together.
Within the scope of this study, sustainable materials and methods that can be employed in sustainable approaches to technical textiles were compiled and analyzed through a comprehensive review of the existing literature. The widespread adoption of sustainable production approaches in the field of technical textiles can contribute to reducing the environmental footprint of the industry while also supporting the transition toward innovative and circular production models.
Key Words: *Sustainable Materials, Sustainable Production Methods, Technical Textiles*

GİRİŞ

Teknik tekstillerin tanımı, The Textile Instıtute tarafından yayınlanan Textile Terms and Definitions kitabında "estetik veya dekoratif özelliklerden ziyade esasen sahip oldukları teknik ve performans özellikleri için imal edilen tekstil materyalleri ve ürünleri" olarak yapılmaktadır [1].

Teknik tekstil sektörü için son 5 yıl oldukça dinamik bir dönem olmuştur. Ülkemizde güçlü tekstil altyapısı ve kaliteli üretim kapasitesi ile dünya pazarında yer edinmeye çalışmaktadır. Özellikle otomotiv, savunma sanayi ve medikal tekstil gibi alanlarda Türkiye'nin ihracatı artması beklentiler arasındadır. Türkiye'de tekstil sektöründe yatırımların gelecek 10 yılda daha çok teknik tekstile geçiş yapması beklenmektedir.

Herhangi bir faaliyet alanındaki mevcut ekonomik strateji, olumsuz çevresel etkiyi azaltmaya ve aynı zamanda tüketicilerin beklentilerini karşılamaya dayanmaktadır; bu nedenle, malzeme ve enerjinin döngüsel akışını (atıkların yeniden kullanımı, bileşenlerin geri dönüşümü, süreçlerin optimizasyonu, yenilikçi teknolojilerin kullanımı, kirletici emisyonların en aza indirilmesi vb.) içeren sürdürülebilir kalkınma ve döngüsel ekonomi kavramlarının önemi ortaya çıkmaktadır[2].

Teknik tekstillerin tasarımında en başta çevresel etki minimize edilmiş ürün tasarımına

odaklanmak gerekmektedir. Üretimde sürdürülebilir malzeme ve üretime göre planlama yapmak önem arz etmektedir. Kullanım sonrası ürünleri toplama mekanizması kurarak geri dönüşüme veya yeniden kullanıma göre kategorize etmek sürdürülebilirlik alanında atılacak en önemli adımlardan biridir.
Sürdürülebilirliği zorunlu kılan dinamikler dış faktörler ve içsel nedenler olmak üzere iki ana başlıkta incelenmektedir.

Şekil 2. Sürdürülebilirliği zorunlu kılan dinamikler[5]

Avrupa Birliği tarafında 2019 yılında yayımlanan "Avrupa Yeşil Mutabakatı" iklim ve çevresorunlarına bütüncül olarak yaklaşan yeni ve etkili stratejiler içermektedir. İklim değişikliğine yönelik çözümleri ekonomik dönüşüm ile sağlayacak stratejiler bütününü içeren Yeşil Mutabakat, 2050 yılına kadar Avrupa Birliği ülkelerinin sera gazı salınımının sıfırlandığı ve döngüsel ekonominin uygulandığı bir düzeni amaçlamaktadır[3].
Günümüzde yayınlanan Avrupa Birliği (AB) komisyonu kararlarında, 2030 yılına kadar sürdürülebilir üretimin etik bir tercih değil hukuki bir zorunluluk haline getirileceği açıkça ifade edilmiştir [5].

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Tekstil üretim zinciri, doğal elyafların yetiştirilmesi ve sentetik elyafların üretimiyle başlar. Elyaf, tekstil ürünlerinin temel hammaddesidir. Doğal, rejenere ve sentetik bazlı elyaf grupları yeniden tanımlanabilir ve bunların yetiştirme, işleme ve üretim aşamaları yeniden tasarlanabilir. Yeni geliştirilen, rejenere ve sentetik elyaf grupları çoğunlukla sürdürülebilir teknoloji çerçevesinde tasarlanmaktadır[4].
Daha çok yerel kaynaklarla üretilen materyallerle üretimin tercih edilmesi, bölgeye istihdam sağlayacak, sosyolojik ve ekonomik kalkınmaya fayda sağlayacaktır. Geleneksel pamuk üretimini; organik veya düşük etkili kimyasal pamuk, keten, kenevir, lycocell gibi materyal kullanımı ile değiştirmek, pestisit ve su kullanımı açısından fayda sağlayabilmektedir. Aynı şekilde poliester yerine yenilenebilir ve biyo çözülebilen elyaflar (yün, mısır püskülünden elyaflar vb.) petrole bağımlılığı azaltabilmektedir[5].

SONUÇ

Sürdürülebilir teknik tekstillerin geleceği, döngüsel ekonomiyi benimseyen çok yönlü bir yaklaşım gerektirmektedir. Yenilikler, biyo-bazlı alternatiflerden gelişmiş geri dönüşüm teknolojilerine kadar tüm yaşam döngüsüne odaklanmaktadır. Araştırmalar, benzer performans sunan, daha düşük karbon etkisiyle yenilenebilir kaynaklardan elde edilen biyobazlı polimerleri hedeflemektedir.
Kimyasal geri dönüşüm, çok malzemeli tekstilleri yeni lifler için orijinal monomerlere dönüştürebilmeketedir. Ürün tasarımı önemli rol oynamaktadır; tek lifli malzemeler kullanılması ve tehlikeli madde içeren kaplamalardan kaçınılmalıdır.
Teknik tekstiller halen gelişmiş ülkelerde üretilmekte olup; yüksek teknoloji ve vasıflı işgücü

gerektirmekte olan bir alandır. Teknik tekstiller aynı zamanda geleneksel tekstillerin zorlayıcı fiyat rekabetinden kaçabilmek için de avantajlar sunmaktadır. Bu itibarla, Türkiye'nin teknik tekstil konusunda güncel durumunun tespiti, ihtiyaçlarının, hedeflerinin belirlenmesi ve bir program dâhilinde hızla hedeflere yönelmesi son derece önemlidir.

KAYNAKÇA

[1] Horrocks, A. R., & Anand, S. C. (Eds.). (2012). *Handbook of technical textiles* (2nd ed.). Woodhead Publishing.
[2] Roy, A., Majumdar, A., Ghasemi, P., Sheikh, W., & Ali, S. M. (2025). Investigating the environmental losses in the textile industry of an emerging economy: Implications for a sustainable and circular economy. *Computers & Industrial Engineering, 209*, 111353. https://doi.org/10.1016/j.cie.2025.111353
[3] Sağlık, Ç. (2023). Tekstil firmalarının sürdürülebilirlik faaliyetlerinin belirlenmesi üzerine bir araştırma, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek lisans tezi.
[4] Muthu, S. S. K. (2016). *Textiles and clothing sustainability: Sustainable technologies*. Springer 13, 978-9811024740.
[5]Çavuşlar, E. (2025). *Tekstil ve hazır giyimde üçüz dönüşüm: Yeşil, dijital ve sosyal dönüşüm*. İstanbul Tekstil ve Hammaddeleri İhracatçıları Birliği (İTHİB).

AN INTERSECTIONAL ANALYSIS OF SUICIDE MORTALITY RATES IN TÜRKİYE: A TREND STUDY BASED ON AGE AND GENDER (2010-2024)

Res Assist. Dr. Ece ÖZGÖREN ÜNLÜ
Suleyman Demirel University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Statistics, 32000, Isparta
ORCID ID: 0000-0003-2092-0034
Prof. Dr. Cengiz GAZELOĞLU
Suleyman Demirel University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Statistics, 32000, Isparta
ORCID ID: 0000-0002-8222-3384

ABSTRACT
Suicide is a significant public health issue associated with social, economic, and demographic conditions, as well as individual characteristics. This study examined changes in suicide mortality rates in Türkiye between 2010 and 2024 by age and gender groups. Suicide mortality rates per 100,000 population were used in the analyses. The data were evaluated using descriptive statistics, line graphs, a risk heat map, the t-test, and Pearson correlation analysis. During the study period, the average suicide mortality rate for men was found to be 6.50, while the average for women was 2.18, the difference between the two groups was statistically significant ($p < 0.001$). When age groups were evaluated collectively, different trends were observed. In particular, significant increases were detected over the years in the 20-24 and 25-29 age groups. In the 20-24 age group, the rate rose from 5.0 in 2010 to 9.1 in 2024 ($r = 0.805$, $p < 0.001$). The highest rate in 2024 was observed in the 25-29 age group at 9.3 ($r = 0.918$, $p < 0.001$). In contrast, the rate in the 75 and older age group declined from 7.9 to 4.9 ($r = -0.793$, $p < 0.001$). The findings indicate that suicide death rates in Türkiye do not change in the same direction across all age and gender groups. Therefore, it would be beneficial to analyze the increases observed particularly in the young and middle-aged groups in conjunction with social and economic indicators.
Keywords: Suicide Rates, Intersectional Analysis, Gender Paradox, Young Adults, Time Series

1. INTRODUCTION
Suicide is a public health issue that cannot be explained by individual characteristics alone and must be considered in conjunction with psychological, social, cultural, and economic conditions. The World Health Organization reports that more than 700,000 people worldwide lose their lives to suicide each year (World Health Organization (WHO) 2021). The relationship between suicide and social conditions has long been a subject of debate. Durkheim (1951) was one of the first researchers to highlight the role of social factors, such as anomie and economic changes, in suicide. However, assessments based on overall rates may not adequately reflect the differing trends observed across age and gender groups.
Differences observed by gender in suicide research constitute an important area of study. According to a finding referred to in the literature as the "gender paradox," while suicide attempts are more common among women, the rate of fatal suicides is higher among men (Canetto and Sakinofsky 1998). Age is also one of the key variables considered when assessing suicide rates. The difficulties young adults face when transitioning from education to the workforce have been addressed within the framework of the "failure to thrive syndrome" (Sanderson, Skirbekk, and Stonawski 2013). More recent studies have also drawn attention to

mental health issues among young people and vulnerabilities during young adulthood (McGorry et al., 2025). Changes in suicidal ideation and suicide deaths among adolescents and young adults during the COVID-19 pandemic have also been studied in various countries (Bridge et al., 2023; Dube et al., 2024).

Studies on suicide rates in Türkiye indicate that there are different patterns across time and demographic groups. Yakar, Temurçin, and Kervankıran (2017) examined the temporal changes and regional differences in suicides in Türkiye. Emiral et al. (2022), on the other hand, analyzed suicide deaths during the 2015-2019 period and reported that mortality rates were higher among men than among women. Karabağ (2026), who examined female suicides by age group, demonstrated that there are age-related differences in terms of causes and methods used. These findings suggest that it is necessary to examine demographic groups separately, in addition to overall rates.

The aim of this study is to examine how suicide death rates per 100,000 population in Türkiye varied by age and sex between 2010 and 2024. To this end, trends by year were evaluated, differences between the sexes were investigated, and changes across age groups were compared.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Dataset and Scope

The data used in this study were obtained from the Suicide Statistics published by the Turkish Statistical Institute (TurkStat). The study utilized 15 years of data covering the period from 2010 to 2024. The dataset includes the annual rates of suicide-related deaths in Türkiye, calculated per 100,000 population. Using rates calculated per capita rather than total case counts allows for comparisons across different years and demographic groups.

2.2. Research Variables

The primary variable examined in this study is the suicide mortality rate per 100,000 population. The analyses utilized data on year, gender, and age group.

Time (Year): The years 2010-2024.

Gender: Male and female.

Age Groups: 0-15, 15-19, 20-24, 25-29, 30-34, 35-39, 40-44, 45-49, 50-54, 55-59, 60-64, 65-69, 70-74, and 75+ a total of 14 age groups were examined.

2.3. Data Analysis and Statistical Processes

The Python programming language was used to organize, analyze, and visualize the data. The analyses were performed using the Pandas, SciPy, Matplotlib, and Seaborn libraries.

2.3.1. Descriptive Statistics and Trend Analysis

To summarize the dataset, the mean, standard deviation, minimum, and maximum values were calculated. The changes in suicide mortality rates by gender over the years are illustrated using line graphs.

2.3.2. Cross-Sectional Visualization (Risk Heat Map)

A two-dimensional risk heat map was created to visualize the distribution of suicide mortality rates by age group over the years. This allowed for a visual assessment of differences among age groups and changes over time.

2.3.3. Inferential Statistics

The difference between suicide mortality rates for women and men was examined using a t-test. The Pearson correlation coefficient was calculated to assess the linear relationship between the rates in age groups and the years. In statistical tests, a p-value of less than 0.05 was considered statistically significant.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Results

3.1.1. Gender-Based Trends and Comparative Analysis

Descriptive statistics on suicide mortality rates for women and men for the 2010-2024 period are presented in Table 1.

Table 1. Descriptive Statistics on Suicide Death Rates by Gender (2010-2024)

Gender	Mean	Std.	Min.	Max.
Male	6.50	0.84	5.00	8.20
Female	2.18	0.21	1.80	2.50
Total	4.34	0.46	3.60	5.20

An examination of Table 1 reveals that, over the 15-year period under study, male suicide mortality rates (Mean = 6.50) were significantly higher than female suicide mortality rates (Mean = 2.18). The results of the independent samples t-test, conducted to assess the statistical significance of this difference, revealed that the difference between the sexes was highly statistically significant ($t = 19.28$, $p < 0.001$).

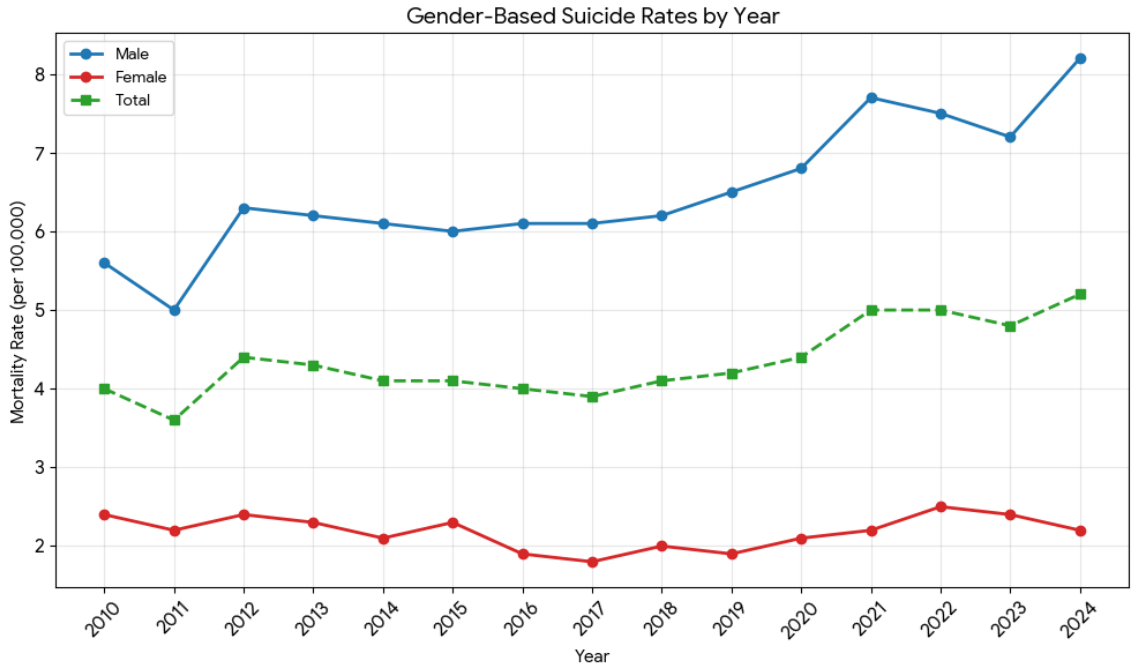


Figure 1. Suicide Rates by Gender and Year (per 100,000)

Upon examining the line graph in Figure 1, it is clear that the annual fluctuations in total suicide rates (green dashed line) almost exactly mirror the pattern of change in male suicide rates (blue line), while female suicide rates (red line) have followed a much more stable trend over the years.

3.1.2. Cross-Sectional Age-Year Analysis and Generational Shift (Risk Heat Map)

The "Risk Heat Map," created to identify the vulnerability of specific demographic groups over the years the primary focus of the study is presented in Figure 2.

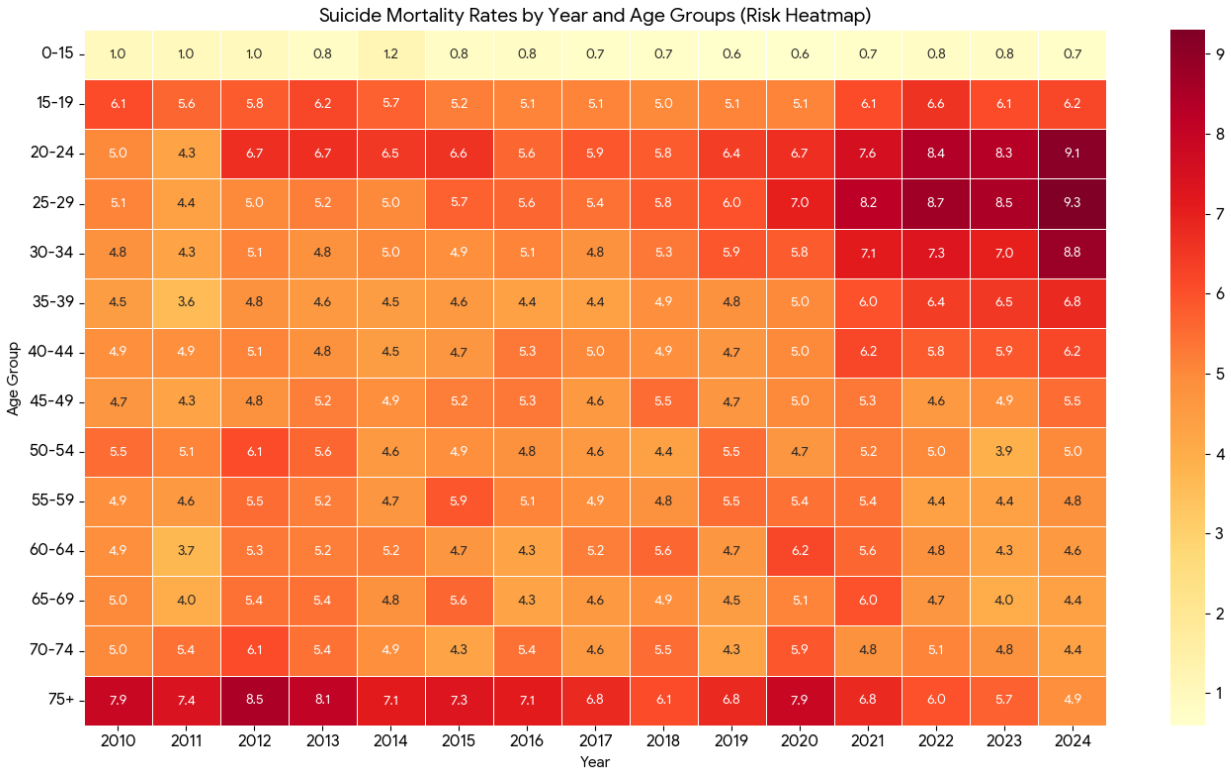


Figure 2. Risk Heat Map of Suicide Death Rates by Year and Age Group

The heat map indicates a very sharp "generational shift" in the demographic risk center. An examination of the map's color intensity reveals that, while the highest mortality rates in the early 2010s were observed in older age groups (75+ years) (dark red), the risk center has systematically shifted toward the "Young Adult" (20-34 years) category since 2020. To statistically validate this shift, the trend between selected target age groups and years was tested using Pearson's correlation analysis, and the results are presented in Table 2.

Table 2. Trends in Suicide Rates by Age Group Over Time (2010-2024)

Age Group	2010 Yearly Rate	2024 Yearly Rate	Pearson Correlation (r)	Significance (p)	Trend
0-15 Age	1.0	0.7	-0.664	0.007*	Significant Decrease
15-19 Age	6.1	6.2	0.156	0.579	No Significant Trend
20-24 Age	5.0	9.1	0.805	< 0.001**	Strong Increase
25-29 Age	5.1	9.3	0.918	< 0.001**	Strong Increase
30-34 Age	4.8	8.8	0.874	< 0.001**	Strong Increase
35-39 Age	4.5	6.8	0.854	< 0.001**	Strong Increase
40-44 Age	4.9	6.2	0.723	0.002*	Significant Increase
45-49 Age	4.7	5.5	0.361	0.186	No Significant Trend
50-54 Age	5.5	5.0	-0.490	0.064	No Significant Trend
55-59 v	4.9	4.8	-0.202	0.469	No Significant Trend

60-64 Age	4.9	4.6	0.126	0.654	No Significant Trend
65-69 Age	5.0	4.4	-0.165	0.557	No Significant Trend
70-74 Age	5.0	4.4	-0.349	0.202	No Significant Trend
75+ v	7.9	4.9	-0.793	< 0.001**	Strong Decrease

Note: * indicates a significance level of $p < 0.05$ and ** indicates a significance level of $p < 0.001$.

The data in Table 2 illustrate our cohort shift hypothesis much more clearly. In the 75+ age category, which was the highest-risk group in 2010 with a rate of 7.9, a statistically significant downward trend ($r = -0.793$, $p < 0.001$) was observed over the years. In all other adult groups aged 50 and older, it was found that the rates remained stable over the years and did not show any statistically significant increase or decrease. In contrast, a significant increase was observed in all groups between the ages of 20 and 44, which form the middle segment of the graph in particular, the 25-29 age group increased its rate from 5.1 in 2010 to 9.3 in 2024, establishing itself as the demographic group with the highest risk in the dataset ($r = 0.918$, $p < 0.001$). This table demonstrates that, over the past 15 years, there has been a clear shift in suicide rates from older age groups toward young and middle-aged adults who are in the process of integrating into the socioeconomic system.

4. CONCLUSION

This study examined suicide mortality rates in Türkiye between 2010 and 2024 using a crosssectional demographic approach, thereby bringing to light the hidden crisis areas underlying macro-level statistics. The study's key finding is that suicide trends in Türkiye are not homogeneous and that severe structural inequalities and vulnerabilities exist at the intersection of gender and age variables.

The empirical findings provide important and new evidence for discussing the structural components of suicidal behavior. First, our gender-based analyses quantitatively confirm the "Gender Paradox" a concept frequently cited in the literature in the Turkish sample. The fact that male suicide rates are statistically approximately three times higher than those of women (mean 6.50 versus 2.18) may be related to men's tendency to choose more lethal methods, the heavy pressure created by the traditional "economic provider" role imposed on men by the patriarchal social structure, and their reluctance to seek psychological help. The fact that fluctuations in overall rates are completely synchronized with changes in male rates demonstrates that macro-level suicide prevention policies in Türkiye must prioritize the mental health dynamics of men and the socioeconomic burdens they face.

The most original contribution of this study to the literature is the phenomenon of "cohort shift," which is substantiated by analyses of expanded age cohorts. Over the study period, the age pattern changed, with higher rates becoming increasingly concentrated among adults aged 20-44. Our longitudinal and cross-sectional data show that, although general population rates appear relatively stable, the 20-44 age group which comprises the active workforce and those of family-forming age has recently shown a marked increase in suicide mortality.

From a public health perspective, the results also suggest that suicide prevention efforts should take demographic differences into account rather than relying only on overall population rates. Particular attention may be given to young and middle-aged adults and to factors that discourage individuals from seeking psychological support. Future studies could build on these findings by looking more closely at employment, income, housing conditions, inflation, unemployment, and regional differences in income. It would also be useful to examine whether distinct risk

profiles emerge within the age groups considered here. Latent Class Analysis could be used for this purpose. If suitable longitudinal data are available, Structural Equation Modeling could also be considered to explore how demographic, social, and economic factors are related.

REFERENCES

Bridge JA, Ruch DA, Sheftall AH, Hahm HC, O'Keefe VM, Fontanella CA, Brock G, Campo JV, Horowitz LM. (2023). Youth suicide during the first year of the COVID-19 pandemic. *Pediatrics* 151(3), e2022058375.

Canetto SS, Sakinofsky I. (1998). The gender paradox in suicide. *Suicide and Life-Threatening Behavior* 28(1), 1–23.

Dubé G, Legault R, Dorfman A, Stolle D, Pelletier-Dumas M, de la Sablonnière R, Lacourse É. (2024). Evidence of higher suicidal ideation among young adults in Canada during the COVID-19 pandemic. *Scientific Reports* 14, 18315.

Durkheim E. (1951). *Suicide: A Study in Sociology*. The Free Press. New York.

Emiral E, Emiral GO, Cevik ZA, Canturk N, Canturk G. (2022). Investigation of suicide deaths in Turkey between 2015 and 2019. *Journal of Men's Health* 18(3), 1–9.

Karabağ G, Zeybek V, Yavuz MS. (2026). Age-related patterns of female suicide in Türkiye: A 15-year nationwide analysis of reported reasons and methods. *Behavioral Sciences* 16(4), 490.

McGorry P, Gunasiri H, Mei C, Rice S, Gao CX. (2025). The youth mental health crisis: Analysis and solutions. *Frontiers in Psychiatry* 15, 1517533.

Sanderson WC, Skirbekk V, Stonawski M. (2013). Young adults failure to thrive syndrome. *Finnish Yearbook of Population Research* 48, 169–187.

TÜİK. (2025). İntihar İstatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu. Ankara.

World Health Organization. (2021). *Suicide Worldwide in 2019: Global Health Estimates*. World Health Organization. Geneva.

Yakar M, Temurçin K, Kervankıran İ. (2017). Suicide in Turkey: Its changes and regional differences. *Bulletin of Geography. Socio-economic Series* 35, 123–143.

POLICY CHANGES OR FINANCIAL REALITIES? AN ANALYSIS OF THE STRUCTURAL SHIFT IN EDUCATION SPENDING PRIORITIES IN TÜRKİYE (2011-2024)

Res. Assist. Dr. Ece ÖZGÖREN ÜNLÜ
Suleyman Demirel University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Statistics, 32000, Isparta
ORCID ID: 0000-0003-2092-0034
Prof. Dr. Cengiz GAZELOĞLU
Suleyman Demirel University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Statistics, 32000, Isparta
ORCID ID: 0000-0002-8222-3384

ABSTRACT
This study examines structural changes in education budget allocations in Türkiye, specifically for the 2011-2024 period. To prevent nominal illusions caused by macroeconomic fluctuations in time-series analyses, per-student education expenditures are measured in U.S. dollars ($) rather than the national currency. The primary objective of the study is to test the extent to which policy changes are reflected in financial realities using the Quandt-Andrews and Bai-Perron structural break tests, along with convergence analyses. The empirical findings point to two major shifts in education financing. First, it has been demonstrated that, with the massification of higher education, the costs of university education have converged sharply toward those of elementary school (with the expenditure ratio falling from 3.68 times to 2.18 times). Second, a statistically significant structural break occurred in the secondary education budget as of 2016. In addition, the investment priority of the government and households has permanently shifted from general high schools to vocational and technical high schools (reaching a ratio of 1.77). The results empirically demonstrate that Türkiye's education spending profile has shifted over the past fourteen years from an elite and academic vision to a mass and employment-oriented structure.
Keywords: Economics of Education, Structural Break, Convergence Analysis, Education Expenditures, Vocational Education

1. INTRODUCTION
Education plays a significant role in the formation and development of human capital and is also one of the key determinants of countries' long-term economic growth and sustainable development goals (Becker 1964; Schultz 1961). Not only the number of resources allocated to education but also how these resources are distributed across different levels of education is important in terms of economic outcomes. Research in the field of economics of education shows that the distribution of resources across different levels of education, from preschool through higher education, is linked to macroeconomic outcomes (Hanushek and Woessmann 2015).
Türkiye's education system has undergone various regulatory and policy changes over the past twenty years. The implementation of the 4+4+4 system, which extended compulsory education to 12 years; the expansion of higher education in line with the "one university per province" policy; and the promotion of vocational education to meet industry's need for skilled mid-level workers are among the most significant of these changes (Gür and Çelik 2009). However, high inflation and exchange rate fluctuations, particularly in recent years, have made the separation

of nominal changes from real trends in TL-based time series more difficult (Tansel 2015; OECD 2023).

In addition, the fact that the deflators used to adjust national data for inflation may not fully reflect education-specific price changes can also pose a limitation for the analyses. In this study, taking this situation into account, the "Education Expenditures per Student by Educational Level" data for the 2011-2024 period, published by the Turkish Statistical Institute (TurkStat), were evaluated in U.S. dollars ($). The aim was thus to examine the relative changes in education expenditures across different levels of education while minimizing the impact of nominal fluctuations in the national currency.

The primary objective of this study was to determine whether a structural change occurred in education spending priorities in Türkiye during the 2011-2024 period. Rather than predetermining the years of the breaks, the study utilized structural break methods that allow for the identification of potential breakpoints based on the data. In addition, the changes over time in per-student expenditures at the higher education and elementary school levels were evaluated in terms of convergence. Accordingly, the study was conducted within the framework of two research questions and the corresponding hypotheses:

1. The Shift to Vocational Education Hypothesis: Has the approach of "Vocational high school is a matter of national importance, which the government has emphasized alongside its industrial policies," been reflected in education expenditures? Has there been a statistically significant structural break in the ratio of per-student expenditures between vocational and technical secondary education and general secondary education during a specific period?
2. The Convergence Hypothesis in Higher Education: How has the increase in the number of universities and the massification of higher education affected the trend in per-student spending? Has the difference in per-student spending between higher education and elementary school levels decreased over time, and have expenditures at these two educational levels converged?

Within the framework of these research questions, this study examines the relationship between the changes observed in education financing in Türkiye during the 2011-2024 period and policy choices and spending trends. The following sections first describe the methods used in the study and then present the findings derived from the analyses, discussing them in the context of education spending.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Description of the Dataset and Variables

The data used in this study were obtained from the "Statistics on Education Expenditures" published by the TurkStat. The dataset, created to examine changes over time in spending priorities across educational levels, consists of a total of 14 years of observations (T=14) covering the 2011-2024 period.

To eliminate "nominal illusions" (the effects of inflation and exchange rate shocks) one of the study's main motivations, the analyses used "annual expenditure per student" data in U.S. dollars ($), as reported by TurkStat, rather than Turkish lira (TL). Dollar-based series more reliably reflect real changes in purchasing power. To test the research hypotheses, rather than using the absolute values of expenditure amounts, two key indices (ratios) were developed to indicate budget allocation priorities across educational levels:

1- **Vocational Education Expenditure Ratio (R_{voc}):** It was calculated by dividing the per-student expenditure in vocational and technical secondary education (Exp_{voc}) by the per-student expenditure in general secondary education (academic high school) (Exp_{gen}).

$$R_{voc,t} = \frac{Exp_{voc,t}}{Exp_{gen,t}} \quad (1)$$

This ratio, when greater than 1, indicates that the government and the private sector allocate more resources to vocational education than to general high school education.

2- Higher Education-Primary Education Expenditure Ratio (R_{he}): The expenditure per student in higher education (Exp_{he}), was calculated by dividing it by the expenditure at the primary school level, which constitutes basic education (Exp_{pri}).

$$R_{he,t} = \frac{Exp_{he,t}}{Exp_{pri,t}} \quad (2)$$

2.2. Econometric Method: Structural Break Tests

In time series analysis, policy changes, economic crises, or institutional reforms can lead to permanent regime shifts in the data-generating process of the series. In the traditional Chow (1960) test, the break date must be specified by the researcher exogenously (a priori). However, since the effects of educational reforms (such as incentives for vocational high schools) may be reflected in financial statements with a delay, identifying the break point endogenously from the data itself yields more reliable results.

To test the research hypotheses, rather than using the absolute values of expenditure amounts, two key indices (ratios) were developed to indicate budget allocation priorities across educational levels:

When a basic time-series equation is defined as follows:

$$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_t + \epsilon_t \quad (3)$$

If a structural failure occurs at time T_b, the equation takes the following form for two different conditions:

$$Y_t = \beta_{01} + \beta_{11} X_t + \epsilon_t \qquad (t = 1, \dots, T_b) \quad (4)$$

$$Y_t = \beta_{02} + \beta_{12} X_t + \epsilon_t \qquad (t = T_b + 1, \dots, T) \quad (5)$$

The Quandt-Andrews (1993) test treats each observation (t) in the sample range as a potential breakpoint and applies successive Chow tests. The most likely breakpoint in the series is the year in which the calculated F-statistics or Wald statistics reach their highest value (Supremum F):

$$SupF = \max_{t_1 \le t \le t_2}(F_t) \quad (6)$$

In addition, to account for the possibility that the series experienced not a single policy change but multiple successive shocks, an L+1-break test was conducted using the Bai-Perron (1998) methodology to detect L sequential breaks, and the break dates were reported according to statistical significance levels (1%, 5%). The years of structural breaks identified through the analyses were interpreted by correlating them with legal and institutional changes in Türkiye's education policy agenda (such as the 4+4+4 reform in 2012 or the vocational education initiatives following 2018).

3. RESULTS AND DISCUSSION

In this section, the empirical results regarding the R_{he} (Convergence) and R_{voc} (Structural Break) indices calculated based on dollar ($)-denominated per-student education expenditures for the 2011-2024 period are presented along with visual and statistical findings. The ratio indices calculated by year to test the study's main hypotheses are summarized in Table 1.

Table 1. Education Expenditure Ratios by Year (2011-2024)

Year	Higher Education / Primary Education (R_{he})	Vocational and Technical Secondary Education / General Secondary Education (R_{voc})
2011	3.68	1.01
2012	3.38	1.03
2013	3.03	1.06
2014	2.67	1.07
2015	2.47	1.05
2016	2.27	1.14
2017	2.28	1.18
2018	2.60	1.24
2019	2.28	1.38
2020	2.58	1.53
2021	2.57	1.69
2022	2.66	1.77
2023	2.19	1.71
2024	2.18	1.62

3.1. Convergence in Higher Education: From Elitism to Massification

In the context of the study's first hypothesis, the convergence of higher education expenditures toward basic education expenditures was analyzed. The results of the analysis reveal that there has been a very strong downward trend in the financial structure of higher education in Türkiye over the years.

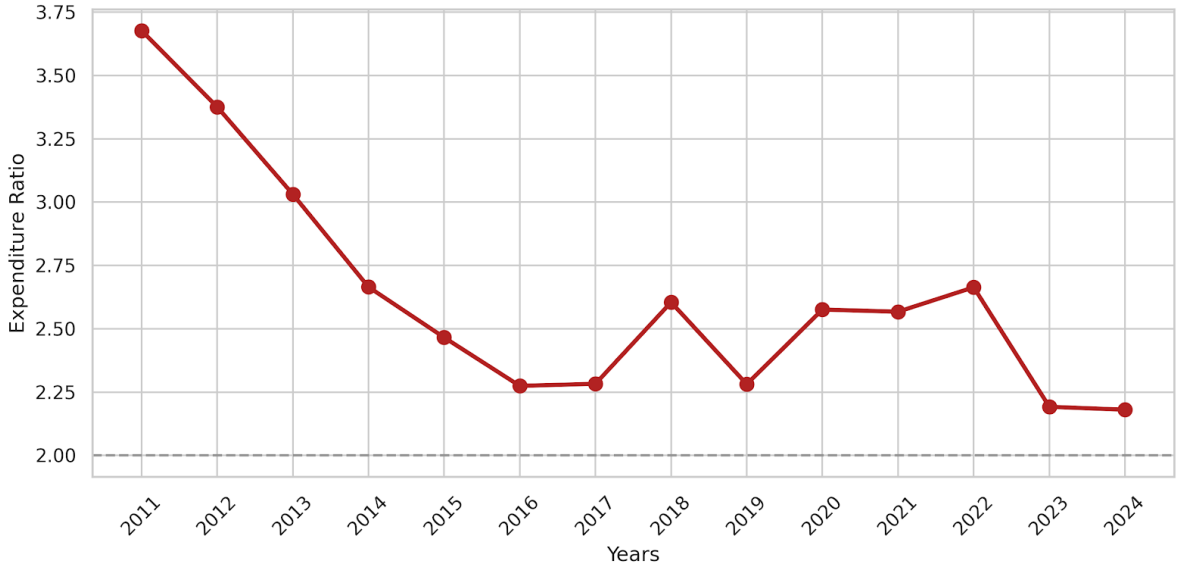


Figure 1. Convergence of Higher Education Expenditures to Primary Education (R_{he})

A comparison of Figure 1 illustrates the significance of this convergence process. In 2011, the annual investment by the government and households in a higher education student was 3.68 times the amount spent on an elementary school student; however, this ratio has shown a

nonlinear but steady downward trend. The gap in the series has narrowed to 2.18 times as of 2024.

Discussion: The fundamental mechanism behind this dramatic convergence in the tables and graphs is Türkiye's "A University in Every Province" vision, implemented in recent years, and the rapid massification of higher education. The rate of increase in the number of university students has outpaced the growth rate of the total real (dollar-based) budget injected into the system, thereby decreasing the per-student budget. It has been empirically demonstrated that higher education has transitioned from an elite and restricted financing structure to a mass financing structure in which costs are converging toward elementary school levels.

3.2. A Structural Shift in Secondary Education: The Rise of Vocational Education

As part of the second research question, the time series of the distribution of the secondary education budget between academic high schools and vocational high schools was tested. The Quandt-Andrews and Bai-Perron tests confirm that there is a statistically significant structural break ($p < 0.01$) in the R_{voc} ratio.

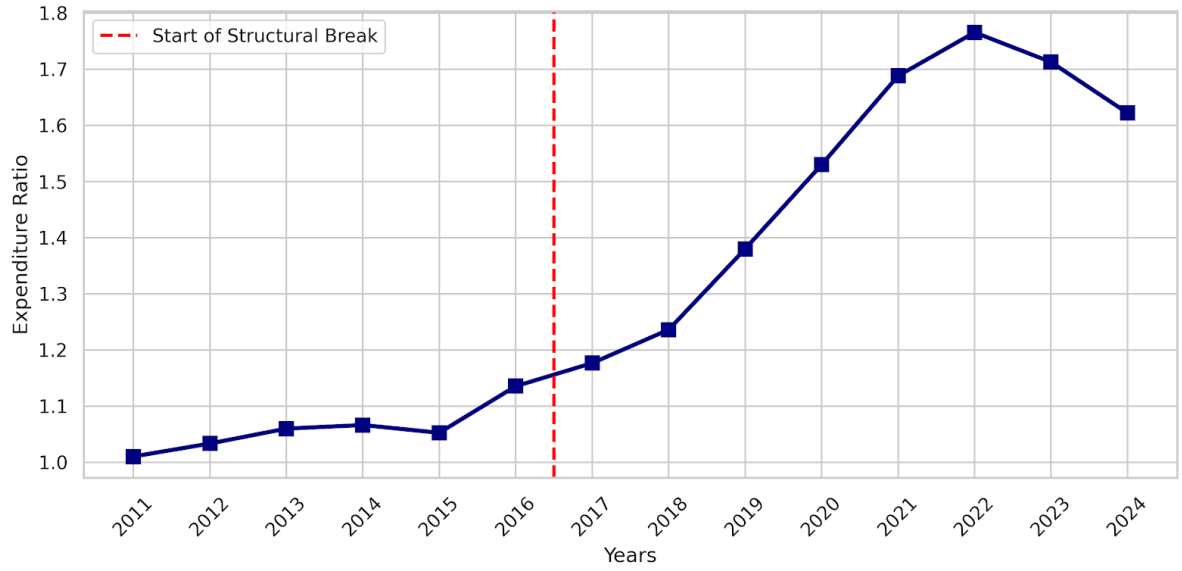


Figure 2. Structural Break in Vocational vs. General High School Expenditures (R_{voc})

The trajectory of this policy shift can be clearly observed in Figure 2. During the 2011-2015 period (the pre-break system) expenditures on vocational education and general secondary education were in balance in relative terms (within the 1.00-range) which means that an equal budget was allocated to students in both types of schools. However, the period after 2016 created a structural break, completely altering the behavior of the series. As Table 1 and Figure 2 show simultaneously, the ratio index, which began rising rapidly starting in 2016, reached a record high of 1.77 in 2022 (meaning 77% more was spent on vocational high schools than on general high schools).

Discussion: The upward trend observed in the graph after 2016 indicates that the emphasis placed on vocational education is also reflected in spending patterns. During this period, government support provided to schools established in investments in technology laboratories, and per-student incentives were among the measures implemented to promote vocational education. Over the period examined, per-student spending on vocational and technical secondary education grew relative to spending on general secondary education, suggesting a greater allocation of resources to vocational education.

3.3. General Assessment

An examination of the dollar-based data over time shows that the distribution of education expenditures across educational levels in Türkiye changed considerably between 2011 and 2024.

The decline in the higher education/elementary school expenditure ratio (Rhe) indicates that the difference in per-student spending between these two education levels has narrowed over time. In contrast, the increase in the vocational and technical secondary education/general secondary education expenditure ratio (Rvoc) suggests that per-student spending on vocational education increased more than that on general secondary education during the period under review. When these two trends are considered together, it can be said that the distribution of education expenditures in Türkiye has changed in tandem with the massification of higher education and the increased emphasis on vocational education.

4. CONCLUSION

This study examines the structural changes that occurred in the distribution of education expenditures across educational levels in Türkiye during the 2011-2024 period. By using per-student education expenditures in U.S. dollars ($) rather than Turkish lira in the analyses, the impact of nominal fluctuations in the national currency was limited, allowing for a comparison of expenditure trends across periods. The findings indicate that notable changes occurred in the distribution of expenditures on higher education and secondary education during the period under review.

First, it was determined that the gap between per-student expenditures in higher education and at the elementary school level has narrowed over time. While per-student expenditure in higher education was 3.68 times that at the elementary school level in 2011, this ratio declined to 2.18 by 2024. When this trend is considered alongside the massification of higher education and the increase in the number of university students during the same period, it indicates that the resources allocated per student in higher education have relatively decreased. This result highlights the importance of considering not only quantitative growth in higher education but also the resources allocated per student and the quality of education. The continuation of this trend in per-student expenditures is viewed as an issue that must be evaluated in terms of the resources universities can allocate to education, research, and development activities.

Second, a statistically significant structural break was identified in the ratio of per-student expenditures between vocational and technical secondary education and general secondary education as of 2016. While per-student expenditures in the two types of education were at similar levels in 2011, a divergence in favor of vocational and technical secondary education emerged in the period following the break. The vocational and technical secondary education/general secondary education expenditure ratio reached its highest value during the period under review, at 1.77 in 2022. This finding indicates that the per-student resources allocated to vocational and technical education have reached a higher level over time compared to general secondary education.

Considering the period as an entirety, it is evident that the distribution of per-student spending across educational levels changed significantly between 2011 and 2024. The narrowing of the spending gap between higher education and elementary school, coupled with vocational and technical secondary education achieving higher per-student spending levels compared to general secondary education, indicates that education funding in Türkiye exhibited a different distribution during the period under review. Future research could explore how these spending trends relate to NEET rates, PISA results, and other education and employment outcomes.

REFERENCES

Andrews DWK. (1993). Tests for parameter instability and structural change with unknown change point. Econometrica 61(4), 821-856.

Bai J, Perron P. (1998). Estimating and testing linear models with multiple structural changes. Econometrica 66(1), 47-78.

Becker GS. (1964). Human Capital: A Theoretical and Empirical Analysis, with Special Reference to Education. National Bureau of Economic Research. New York.

Chow GC. (1960). Tests of equality between sets of coefficients in two linear regressions. Econometrica 28(3), 591-605.

Gür BS, Çelik Z. (2009). Türkiye'de Milli Eğitim Sistemi: Yapısal Sorunlar ve Öneriler. SETA Yayınları. Ankara.

Hanushek EA, Woessmann L. (2015). The Knowledge Capital of Nations: Education and the Economics of Growth. The MIT Press. Cambridge, MA.

OECD. (2023). Education at a Glance 2023: OECD Indicators. OECD Publishing. Paris.

Quandt RE. (1960). Tests of the hypothesis that a linear regression system obeys two separate regimes. Journal of the American Statistical Association 55(290), 324-330.

Schultz TW. (1961). Investment in human capital. The American Economic Review 51(1), 1-17.

Tansel A. (2015). Inequality of opportunities of educational achievement in Turkey over time. IZA Discussion Paper No. 9005.

TÜİK. (2024). Eğitim Harcamaları İstatistikleri. Türkiye İstatistik Kurumu. Ankara.

MOST COMMON CENTRAL NERVOUS SYSTEM DISEASES AMONG THE ELDERLY, OLD, AND LONG-LIVED

SCiENTIFIC WORKER G. G. Huseynova
Living Systems Research Institute Public Legal Entity,
Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan
https://orcid.org/0009-0005-1537-865X
senior laboratory assistant S.S.Veliyeva
Living Systems Research Institute Public Legal Entity,
Ministry of Science and Education Republic of Azerbaijan

ABSTRACT

In recent years, the primary objective of modern gerontology has been to extend human lifespan by studying the fundamental patterns of the ageing process at various stages of life. The findings of fundamental gerontological research conducted in this field are entirely devoted to the mechanisms and characteristics of the ageing process. Disease has been identified as a factor that accelerates the ageing process and contributes to its early onset. A wide range of diseases impacting individuals across various life stages, including arthritis, osteoporosis, atherosclerosis, malignant tumours, skin diseases, sexually transmitted diseases, and blood disorders, have been associated with a decline in life expectancy and an acceleration in biological ageing. In such cases, as pathological changes occur in all the organs of deceased elderly people, it is also difficult to make a correct diagnosis. It is an established fact that cardiovascular disease and cancer are the foremost causes of mortality in developed countries. However, in the elderly, the very elderly and long-lived individuals, the main factor drastically impairing quality of life and leading to disability is pathology of the central nervous system (CNS). In the context of physiological ageing, a decline in neuronal density in the brain and a decrease in metabolic function render the CNS more vulnerable to disease. The most prevalent nervous system disorders in the elderly population encompass neurodegenerative disorders, including Alzheimer's disease and Parkinson's disease, as well as disorders of cerebral blood flow, i.e. cerebrovascular diseases and vascular dementias. Atherosclerotic lesions of the cerebral vessels have been demonstrated to engender a marked increase in the risk of stroke, thereby engendering conditions conducive to cognitive impairment. Early diagnosis of these diseases, in-depth study of the mechanisms of ageing, and the implementation of appropriate preventive measures are of great scientific and practical importance for preventing pathological ageing and improving mental health in long-lived individuals.

Keywords: gerontology, central nervous system, longevity, cerebrovascular pathology, physiological aging, neurodegeneration

YAŞLILARDA, ILERI YAŞLILARDA VE UZUN ÖMÜRLÜLERDE EN SIK GÖRÜLEN MERKEZI SINIR SISTEMI HASTALIKLARI.

ÖZET

Son yıllarda, modern gerontolojinin temel amacı, yaşamın çeşitli aşamalarında yaşlanma sürecinin temel kalıplarını inceleyerek insan ömrünü uzatmaktır. Bu alanda yürütülen temel gerontolojik araştırmaların bulguları tamamen yaşlanma sürecinin mekanizmalarına ve özelliklerine ayrılmıştır. Hastalık, yaşlanma sürecini hızlandıran ve erken başlangıcına katkıda bulunan bir faktör olarak tanımlanmıştır. Artrit, osteoporoz, ateroskleroz, malign tümörler, deri hastalıkları, cinsel yolla bulaşan hastalıklar ve kan bozuklukları da dahil olmak üzere, yaşamın çeşitli aşamalarındaki bireyleri etkileyen çok çeşitli hastalıklar, yaşam beklentisinde düşüş ve

biyolojik yaşlanmada hızlanma ile ilişkilendirilmiştir. Bu gibi durumlarda, ölen yaşlı kişilerin tüm organlarında patolojik değişiklikler meydana geldiğinden, doğru teşhis koymak da zordur. Gelişmiş ülkelerde kardiyovasküler hastalık ve kanserin başlıca ölüm nedenleri olduğu bilinen bir gerçektir. Bununla birlikte, yaşlılarda, çok yaşlılarda ve uzun ömürlü bireylerde, yaşam kalitesini önemli ölçüde bozan ve sakatlığa yol açan ana faktör, merkezi sinir sisteminin (MSS) patolojisidir. Fizyolojik yaşlanma bağlamında, beyindeki nöronal yoğunluğun azalması ve metabolik fonksiyonun azalması, MSS'yi hastalıklara karşı daha savunmasız hale getirir (1,11). Yaşlı nüfusta en sık görülen sinir sistemi bozuklukları arasında Alzheimer hastalığı ve Parkinson hastalığı gibi nörodejeneratif bozukluklar ile serebral kan akışı bozuklukları, yani serebrovasküler hastalıklar ve vasküler demanslar yer almaktadır (2,9,10,12). Serebral damarların aterosklerotik lezyonlarının inme riskinde belirgin bir artışa yol açtığı ve böylece bilişsel bozukluğa elverişli koşullar yarattığı gösterilmiştir. Bu hastalıkların erken teşhisi, yaşlanma mekanizmalarının derinlemesine incelenmesi ve uygun önleyici tedbirlerin uygulanması, patolojik yaşlanmayı önlemek ve uzun ömürlü bireylerde ruh sağlığını iyileştirmek için büyük bilimsel ve pratik öneme sahiptir.
Anahtar Kelimeler: gerontoloji, merkezi sinir sistemi, uzun ömür, serebrovasküler patoloji, fizyolojik yaşlanma, nörodejenerasyon

INTRODUCTION

The primary objective of contemporary gerontology is to extend human life by studying the fundamental principles governing the ageing process at various levels of life (molecular, cellular, tissue and systemic). Despite the existence of numerous theories concerning the ageing process (e.g. telomere shortening, free radical, immunological and neuroendocrine theories), the question of which system or organ of the human body ages more rapidly and determines life expectancy remains a scientifically relevant issue. The human lifespan is contingent upon a number of socio-economic factors, including but not limited to the quality of medical care, lifestyle choices, and environmental influences. As demonstrated in the research by Ch.Y. Gasimov and N.Y.Karamova, longevity is a natural manifestation of physiological ageing, and individuals over the age of 90 constitute a genuine biological model of physiological ageing. Azerbaijan is recognized as a country with a high life expectancy, and the elevated longevity index in select regions of the country facilitates population-level research on the terminal stages of ontogenesis. However, the most significant factor accelerating pathological ageing is chronic disease. Among the conditions most common in Elderly, Old, and Long-Lived —and which drastically reduce quality of life—diseases of the central nervous system (CNS) are of particular significance. The limited regenerative capacity of neurons is a key factor in the complexity and prioritisation of CNS disorders as a research area in gerontology.

Despite the existence of numerous theories concerning the body's ageing process, determining which part of the human body ages more rapidly and determining life expectancy remains a relevant issue in gerontology to this day. The correlation between human longevity and a number of socio-economic factors, health status and lifestyle, as well as physical capacity and its nature, has been well documented. The global prevalence of centenarians is observed to be positively correlated with the economic and social development of nations. In addition to socio-economic factors, the prevailing psychological state of the society in which we live exerts a substantial influence on demographic indicators and biological life expectancy within a nation. From the perspective of understanding the body's ageing process, the phenomenon of longevity is undoubtedly of interest. Longevity can be considered both a manifestation and a consequence of physiological ageing. Centenarians are regarded as a natural model for the study of physiological ageing. Centenarians, in essence, represent the realised form of the maximum

type of human life. The study of the clinical and physiological characteristics of centenarians, and the addressing of fundamental questions regarding the biology of ageing in the late stages of ontogenesis at a population level, is of great significance. Issues concerning human lifespan and its further extension are of the greatest interest to gerontologists. These issues are interconnected and contingent on numerous factors. Among the most significant factors, social and economic conditions, as well as psychological, medical and environmental factors, must also be considered. The majority of regions within the Azerbaijani territory are inhabited by a population with a high life expectancy. The present study posits that, should the longevity ratio in our country reach 50 per cent, this would signify that the number of individuals aged 90 and over in the population would be equivalent to half of the number of people aged 60 [1].

Our research focuses on studying the phenomenon of longevity, investigating the causes of diseases and changes in the physiological and functional systems of the aging organism, and examining the factors essential for healthy aging.

It is evident that elevated rates of diseases that are responsible for pathological ageing, environmental pollution, and numerous other factors exert a detrimental effect on the longevity index and the physiological ageing of the body in this context. It is imperative to implement preventative measures to halt the progression of identified diseases. The fundamental objective for humanity is not only to enhance human life expectancy, but also to attain healthy and active longevity. It is acknowledged that alterations within the blood system may be subject to the influence of adverse environmental factors and other causative agents. Cardiovascular diseases are responsible for 60% of deaths worldwide. Statistical evidence indicates a consistent annual increase in mortality rates due to these diseases.

The possibility exists of leading a healthy lifestyle and increasing life expectancy by means of the following: the consumption of a balanced diet; the avoidance of being overweight or obese; the renunciation of harmful habits (such as alcohol and smoking); the undertaking of regular exercise; the frequency of walks in the fresh air; the regularity of medical check-ups; and the maintenance of good personal hygiene.

In gerontology and geriatrics, the study of the development of age-related pathological processes remains a pressing issue. Gerontology is the scientific study of the phenomenon of longevity at all levels, from living conditions to the physiology of the body. The determination of this phenomenon is contingent upon its regulatory framework. This phenomenon is exemplified by the progression of age-related pathologies within the CNS system.

RATIONALE

The primary objective of contemporary gerontology is to extend human life, to study the mechanisms of biological aging, and to achieve active longevity. As the organism undergoes the process of ageing, profound morphofunctional changes occur in a variety of body systems, with the central nervous system (CNS) being particularly affected. CNS disorders represent a significant cause of disability and diminished life expectancy among three distinct age groups: the Elderly (aged 60–74), the Old (aged 75–89), and Long-Lived (aged 90 and over). The objective of the present study is to analyse the prevalence, clinical etiopathogenesis and age-related characteristics of degenerative, vascular and metabolic disorders of the CNS in different age groups (the elderly, the old and long-lived). Furthermore, the Study will evaluate preventive measures.

METHODOLOGY

The Study employed comparative analysis methods at the gerontological, neurological, clinical-physiological, and population levels, as well as regional demographic data from

Azerbaijan, a country known for its longevity.

MORPHO-FUNCTIONAL CHANGES IN THE CENTRAL NERVOUS SYSTEM DURING AGING

As we get older, our central nervous system changes in a number of ways: The brain gets smaller and less active as we get older. The brain gets smaller by about 2–3% every 10 years. The number of neurons (cells that send and receive information in the brain) in the cerebral cortex, hippocampus and Purkinje cells decreases, and the connections between them weaken. Impaired cerebral blood flow: sclerotic changes (hardening) in the walls of blood vessels cause a 20–30 per cent decrease in blood flow to the brain. Neurotransmitter imbalance, namely a decrease in the synthesis of dopamine, acetylcholine, serotonin, and GABA (gamma-aminobutyric acid), contributes to the decline of cognitive and motor functions.

MOST COMMON CNS DISEASES IN AZERBAIJAN

The manifestations of central nervous system (CNS) disorders vary across different age groups. Cerebrovascular diseases (disorders of the cerebrovascular system) Cerebrovascular diseases are the most common form of CNS damage in older people. Acute cerebrovascular accidents (strokes): Ischaemic and haemorrhagic strokes are the main causes of disability in older people. Hypertension, atherosclerosis and diabetes mellitus significantly increase the risk of stroke. Chronic cerebrovascular insufficiency (discirculatory encephalopathy): Chronic hypoxia of brain tissue leads to memory impairment, emotional lethargy and gait disturbances. Neurodegenerative diseases are characterised by proteopathies (abnormal protein folding and aggregation).

Alzheimer’s disease and dementia. Alzheimer’s disease accounts for 60–70 per cent of cases of dementia in older people. Its pathogenesis involves the accumulation of beta-amyloid plaques in the interstitial space between neurons and the hyperphosphorylation of the tau protein, leading to the formation of neurofibrillary tangles.

Parkinson’s disease is characterised by degeneration of neurons in the substantia nigra (black substance) and a dopamine deficiency. Symptoms include: resting tremor, rigidity, akinesia (impaired movement) and postural instability.

CONCLUSION

A comparative analysis of long-term research conducted by the “Bio-gerontology and Development” Laboratory has revealed that central nervous system (CNS) disorders are among the most prevalent health problems in the elderly. Notably, in long-lived individuals, the CNS maintains functional activity and supports normal cognitive function through highly developed adaptive mechanisms, which may serve as evidence of healthy aging processes.

Research indicates that the most common CNS disorders among the elderly population in Azerbaijan are cerebrovascular and neurodegenerative diseases. Impairment of CNS function in old age can contribute to the development of chronic and acute neuropsychiatric disorders, disability, and, in severe cases, death. These conditions ultimately contribute to a decline in the longevity index.

Diseases of the central nervous system are a significant cause of disability and premature death among the Elderly and the Old. Cerebrovascular disorders and neurodegenerative diseases have been proved to accelerate the process of pathological ageing, also known as progeria. Individuals over the age of 90 exemplify the natural progression of physiological ageing. In such cases, the compensatory and adaptive mechanisms of the central nervous system

remain at a high level. The presence of polymorbidity in elderly individuals poses a significant challenge to the accuracy of diagnosis. Consequently, neurogeriatric assessments must be conducted at an early stage. In order to protect the health of the central nervous system, it is essential that gerontological prevention programmes are expanded at both the state and community levels. Furthermore, the concept of active longevity should be promoted.

REFERENCES

Cerka, P., Jurgita, G. & Gintarė, S. (2015). Liability for damages caused by artificial intelligence. *Computer Law & Security Review*, 31, 376- 389.

Kərəmova, N.Y. (2024). Sumqayıt şəhərində yaşayan ahıl və qoca yaşlı insanların sağlamlıq göstəriciləri. BDU-nun 105 illiyi və Biologiya fakültəsinin 90 illik yubileyinə həsr edilmiş "Yaşıl Dünya naminə həmrəylik ili" çərçivəsində "Biologiyada nailiyyətlər və çağırışlar" (Achievements and Challenges in Biology - ACB) mövzusunda *XII Beynəlxalq elmi konfransı*.

Власова, И.А., Губин, & Г.И., Поляев, Б.А. (2002). Биологический возраст и уровень физического здоровья пожилых людей .*Сибирь-Восток,* №8 (56), С.13-15.

Горошко, Н.В., Пацала, С.В. (2023). Феномен долгожительства в структуре глобального народонаселения. *Социальные аспекты здоровья населения*. №3, с.24-31.

Канделя, М.В., Койсман, & Л.А., Назарова, В.П. (2019). Физиологические и психологические изменения в пожилом возрасте // *Вестник ПГУ им. Шолом-Алейхема*. №2 (35).

Finch, C.E., & Ruvkun, G. (2001). The genetics of aging. *Annu Rev Genomics Hum Genet*.; p.2435-462.

Friedland, R.P. (1993). Epidemiology, education, and the ecology of Alzheimer's disease. *Neurology.* 43246- 249

Jin, K. (2010). Modern biological theories of aging. *Aging Dis.*,1(2):72.

Karamova, N.Y., & Gasimov, Ch.Y. (2022). Most common diseases among longevity. 4th Internatianol Conference on Innovations in Natural Science and Engineering, Azerbaijan State University of Economics and Sakarya University (SAU), *Baku, Azerbaijan* , s.85.

Karamova, N.Y., Primkulova, S., & Meyliyev, B. (2025). Comparative Analysis of Psychophysiological and Health Indicators of Aged, Elderly and Long-Lived from Different Mountainous Districts of Azerbaijan. International Conference "Mountains: Biodiversity, Landscapes and Cultures" (MBLC-2024) Baku, Azerbaijan, November 5-6, 2024. *Western Caspian University*. BIO Web Conf. 151 04014 (2025). DOI: 10.1051/bioconf/202515104014

McKhann, G.M., Knopman, D.S., & Chertkow, H. et al. (2011). The diagnosis of dementia due to Alzheimer's disease: Recommendations from the National Institute on Aging-Alzheimer's association workgroups on diagnostic guidelines for Alzheimer's disease. *Alzheimer's & Dementia.*7(3):263-269

Mobbs, C. (1996). Neuroendocrinology of aging. *Handbook of the Biology of Aging.* San Diego, Calif Academic Press Inc.234- 282.

Mouton, P.R., Martin, L.J., Calhoun, M.E. et al. (1998). Cognitive decline strongly correlates with cortical atrophy in Alzheimer's dementia. Neurobiol. Aging., 19371- 379

Spinelli, R., Parrillo, L., Longo, M., Florese, P. et al. (2020).Molecular basis of ageing in chronic metabolic diseases. J. Endocrinol. Investig., 43:1373–1389.

1. Volkert, D., Delzenne, N., Demirkan, et all. (2024). Nutrition for the older adult – Current concepts. Report from an ESPEN symposium. Clinical Nutrition, V. 43, Issue 8,2024,P. 1815-1824,ISSN 0261-5614

2. Zietz, B., Hrach, S., Scholmerich, J. et al. (2001). Differential age-related changes of hypothalamus-pituitary-adrenal axis hormones in healthy women and men: role of interleukin-6. Exp. Clin. Endocrinol. Diabetes.;10993- 101

3. https://www.who.int/ageing/healthy-ageing/en/. (2021). World Health Organization Ageing: Healthy ageing and functional ability.

KALİTE YÖNETİMİNDEN AKILLI KALİTEYE: YAPAY ZEKÂNIN KALİTE VE İNOVASYON YÖNETİMİNDEKİ DÖNÜŞTÜRÜCÜ ROLÜ

Dr. Ömer ÖZKAN
SOCAR Türkiye, Quality Management Department, 34485 Sarıyer, İSTANBUL
ORCID ID: 0000-0002-0752-307X

ÖZET

Dijital dönüşüm ve yapay zekâ (YZ) teknolojilerindeki hızlı gelişmeler, kalite yönetiminin geleneksel sınırlarını yeniden şekillendirmekte; kalite fonksiyonunu ağırlıklı olarak uygunluğun sağlanmasına odaklanan reaktif bir yapıdan, veri odaklı, öngörücü ve öğrenme yönelimli bir yönetim yaklaşımına dönüştürmektedir. Kalite 4.0 literatürü; büyük veri analitiği, yapay zekâ, makine öğrenmesi, Nesnelerin İnterneti (IoT) ve bağlantılı sistemlerin kalite yönetimi süreçlerine entegrasyonunun, ürün ve süreç kalitesinin ötesine geçerek karar verme, örgütsel öğrenme ve performans mükemmelliğini kapsayan yeni fırsatlar yarattığını ortaya koymaktadır. Buna paralel olarak yapay zekâ, inovasyon yönetiminde yalnızca operasyonel bir teknoloji olarak değil; bilgi işleme, karar verme, fikir üretme ve inovasyon yetkinliklerini destekleyen stratejik bir kabiliyet olarak giderek daha fazla değerlendirilmektedir.

Bu çalışmanın amacı, yapay zekânın kalite ve inovasyon yönetimi üzerindeki dönüştürücü etkisini bütünleşik bir perspektiften incelemek ve geleneksel kalite yönetiminden "Akıllı Kalite (Intelligent Quality)" yaklaşımına geçişi açıklayan kavramsal bir çerçeve önermektir. Çalışma; Kalite 4.0, yapay zekâ, akıllı kalite yönetimi ve inovasyon yönetimi alanlarındaki güncel akademik literatürün yapılandırılmış kavramsal incelemesine dayanmaktadır. Önerilen çerçevede kalite yönetiminin gelişimi, birbirini tamamlayan aşamalar üzerinden ele alınmaktadır: uygunluk ve kontrol, önleme ve sürekli iyileştirme, veri odaklı Kalite 4.0 ve yapay zekâ destekli Akıllı Kalite.

Bu çalışmada Akıllı Kalite, yapay zekâ ve ileri veri analitiğinin kalite yönetimi ilkeleriyle bütünleştirildiği; kalite risklerinin öngörülmesi, uygunsuzlukların erken tespit edilmesi, kök nedenlerin belirlenmesi, örgütsel bilginin geliştirilmesi ve karar verme süreçlerinin desteklenmesi yoluyla sürekli iyileştirme ve inovasyon kapasitesini artıran insan–teknoloji etkileşimine dayalı bir yönetim yaklaşımı olarak kavramsallaştırılmaktadır. Bununla birlikte veri kalitesi, algoritmik şeffaflık, insan gözetimi, yetkinlikler, etik ve yönetişim gereklilikleri, Akıllı Kaliteye başarılı bir dönüşümün temel koşulları olarak değerlendirilmektedir.

Bu çalışmanın özgün katkısı, Kalite 4.0 ve yapay zekâ literatürünü inovasyon yönetimi perspektifiyle bütünleştirmesi ve kalite yönetiminin geleceğini yalnızca dijitalleşme veya otomasyon açısından değil, öngörü, öğrenme ve inovasyon üretme kapasitesine sahip örgütsel bir yetkinlik olarak açıklayan bir "Akıllı Kalite" kavramsal çerçevesi önermesidir. Önerilen çerçevenin, gelecekte gerçekleştirilecek ampirik araştırmalar için teorik bir temel oluşturması ve yapay zekâ destekli kalite dönüşümünü gerçekleştirmeyi hedefleyen kuruluşlar için yol gösterici bir yaklaşım sunması beklenmektedir.

Anahtar kelimeler: Yapay Zekâ, Kalite Yönetimi, Akıllı Kalite, Kalite 4.0, İnovasyon Yönetimi, Dijital Dönüşüm

FROM QUALITY MANAGEMENT TO INTELLIGENT QUALITY: THE TRANSFORMATIVE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN QUALITY AND INNOVATION MANAGEMENT

ABSTRACT

Rapid advances in digital transformation and artificial intelligence (AI) technologies are reshaping the traditional boundaries of quality management, transforming the quality function from a predominantly reactive structure focused on ensuring conformance into a data-driven, predictive, and learning-oriented management approach. The Quality 4.0 literature demonstrates that integrating big data analytics, artificial intelligence, machine learning, the Internet of Things (IoT), and connected systems into quality management processes creates new opportunities that extend beyond product and process quality to encompass decision-making, organizational learning, and performance excellence. In parallel, AI is increasingly regarded in innovation management not merely as an operational technology, but as a strategic capability that supports information processing, decision-making, idea generation, and innovation capabilities.

The purpose of this study is to examine the transformative impact of AI on quality and innovation management from an integrated perspective and to propose a conceptual framework explaining the transition from traditional quality management to "Intelligent Quality." The study is based on a structured conceptual review of the current academic literature on Quality 4.0, artificial intelligence, intelligent quality management, and innovation management. In the proposed framework, the evolution of quality management is addressed through complementary stages: conformance and control, prevention and continuous improvement, data-driven Quality 4.0, and AI-enabled Intelligent Quality.

In this study, Intelligent Quality is conceptualized as a human-technology interaction-based management approach that integrates AI and advanced data analytics with quality management principles and enhances continuous improvement and innovation capacity by predicting quality risks, detecting nonconformities at an early stage, identifying root causes, developing organizational knowledge, and supporting decision-making processes. Data quality, algorithmic transparency, human oversight, competencies, ethics, and governance requirements are also considered fundamental conditions for a successful transition to Intelligent Quality.

The original contribution of this study lies in integrating the Quality 4.0 and AI literature with an innovation management perspective and proposing an Intelligent Quality conceptual framework that explains the future of quality management not merely in terms of digitalization or automation, but as an organizational capability for anticipation, learning, and innovation generation. The framework is expected to provide a theoretical foundation for future empirical research and a guiding approach for organizations seeking to implement AI-enabled quality transformation.

Keywords: Artificial Intelligence, Quality Management, Intelligent Quality, Quality 4.0, Innovation Management, Digital Transformation

1. INTRODUCTION

Throughout its historical development, quality management has expanded from inspection and defect-detection practices to process control, total quality management, continuous improvement, and more integrated management systems. With Industry 4.0, this development entered a new stage, as technologies such as sensors, connected systems, big data, cloud computing, machine learning, and artificial intelligence began to transform how quality activities generate and analyze data and support decisions. This transformation is widely

discussed in the literature under the concept of Quality 4.0 (Escobar et al., 2021; Liu et al., 2023).

Quality 4.0 does not merely mean transferring traditional quality tools to a digital environment (Oliveira, Alvelos, & Rosa, 2025). The fundamental change concerns the real-time collection of quality-related data, the integration of multiple data sources, and the generation of decision-supporting knowledge from these data. Escobar, McGovern, and Morales-Menendez (2021) emphasize that industrial big data and AI enable new classes of quality problems to be addressed. Similarly, Liu et al. (2023), examining the transition from total quality management to Quality 4.0, identify predictive quality as an important area for future research.

The term Quality 4.0 is deliberately retained in this study rather than replaced with Quality 5.0. Quality 4.0 is already established in the literature as the application of digital and disruptive technologies within quality management while preserving established quality principles (Escobar et al., 2021; Liu et al., 2023). Although the emerging Quality 5.0 discourse emphasizes human-centricity, sustainability, resilience, and closer integration between human judgment and intelligent technologies (Olaitan & Elshennawy, 2024), its conceptual boundaries are still developing, and recent reviews describe the transition toward Quality 5.0 as emergent rather than fully consolidated (Oliveira, Pinho, & Brendon, 2026). Accordingly, this study uses Quality 4.0 to denote the recognized digital transformation stage and introduces Intelligent Quality as an AI-enabled organizational capability that extends this foundation through prediction, learning, human oversight, and innovation, without presenting it as a universally established numbered successor.

The impact of AI is not limited to the quality function. The innovation management literature shows that AI is becoming increasingly important in information processing, opportunity identification, idea development, and the strengthening of innovation capabilities. In their review of 62 empirical studies, Gama and Magistretti (2025) link AI applications to innovation capabilities and show that AI can both enhance existing capabilities and contribute to the emergence of new ones. These developments create a need to address quality and innovation management in a more integrated manner around AI.

Against this background, the present study examines the evolution of quality management through a four-stage structure and conceptualizes the AI-enabled final stage as Intelligent Quality. The central research question is how AI can transform quality management beyond a technology that merely makes it faster or more automated into a management capability that strengthens organizational learning and innovation capacity.

2. THE EVOLUTION OF QUALITY MANAGEMENT: FROM TRADITIONAL QUALITY TO QUALITY 4.0

In the early periods of quality management, the primary aim was to identify nonconforming products and prevent them from reaching the customer. With approaches such as statistical process control, quality assurance, total quality management, and Six Sigma, the focus gradually shifted toward preventing defects at their source, systematically improving processes, and managing customer expectations throughout the organization. Digital transformation has added a new, data-intensive and connected dimension to this historical development.

Rather than eliminating the fundamental principles of traditional quality management, Quality 4.0 extends them through the possibilities offered by new digital technologies. Escobar et al. (2021) describe Quality 4.0 as a new wave of quality that uses industrial big data, the Industrial Internet of Things, and AI to address quality problems that were previously difficult to solve. From this perspective, the value of Quality 4.0 lies not merely in collecting more data, but in producing timely and reliable decisions from data.

The systematic literature review by Liu et al. (2023) also shows that Quality 4.0 is reshaping both the technological and managerial dimensions of quality management. In a digitalized quality environment, processes can be monitored in real time, deviations can be identified earlier, and quality-performance decisions can move beyond retrospective reporting. Quality management thus evolves from a system that merely explains realized outcomes toward one that assesses potential future risks.

In this study, this development is expressed through four complementary stages: (1) conformance and control, (2) prevention and continuous improvement, (3) data-driven Quality 4.0, and (4) AI-enabled Intelligent Quality. These stages are not alternatives to one another. Rather, each new stage preserves the quality principles of the preceding period while expanding decision-making capacity. Intelligent Quality should therefore be regarded not as a break from classical quality management, but as its continuation enriched by data, learning, and predictive capabilities.

3. ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND THE INTELLIGENT QUALITY APPROACH

AI contributes to quality management by identifying patterns in high-volume, multidimensional data that cannot readily be detected through human observation. Machine learning and related methods can support process-deviation prediction, anomaly detection, visual inspection, predictive maintenance, defect classification, root-cause analysis, quality optimization, monitoring, and interpretable diagnosis (Huang et al., 2026).

Technology use alone, however, does not create an intelligent quality management system. The accuracy, completeness, and context of the data used to train AI models; the explainability of model outputs; the allocation of decision authority between humans and algorithms; and employees' competence in interacting with new systems are all critical. Intelligent Quality should therefore be defined not by the level of automation alone, but by the joint capacity of humans and technology to produce better quality decisions.

In this study, the operating logic of Intelligent Quality is explained through six interconnected functions: predict, detect, analyze, learn, decide, and innovate. First, the system uses historical and real-time data to predict quality risks. Second, existing or emerging nonconformities are detected early. Third, relationships among process variables are analyzed to assess potential root causes. Fourth, the resulting knowledge is transferred to organizational memory. Fifth, alternatives and priorities are presented to human decision-makers. Finally, accumulated knowledge is used not only to improve existing processes but also to develop new product, service, and process ideas.

This approach also implies a change in the role of quality professionals. Future quality specialists will need more than mastery of standards, auditing, and problem-solving tools. Data literacy, the ability to interpret algorithmic outputs, the capacity to assess digital risks, and the ability to work across disciplines will become increasingly important.

4. THE RELATIONSHIP AMONG ARTIFICIAL INTELLIGENCE, QUALITY, AND INNOVATION MANAGEMENT

Quality and innovation have sometimes been treated as opposing managerial objectives. Quality management has been associated with standardization, stability, and reduced variation, whereas innovation has been associated with novelty, experimentation, and uncertainty. Digital transformation, however, is making this distinction increasingly permeable. The large datasets generated in quality processes are valuable not only for defect prevention but also for identifying new opportunities and customer needs.

Gama and Magistretti (2025) examine the role of AI in innovation management through capabilities that "enable" and "enhance," showing that AI applications can perform functions such as transforming, strengthening, and revealing. Applied to quality management, this

perspective suggests that AI should be viewed not merely as a tool for automating existing quality-control activities, but as a capability that deepens process knowledge and reveals new solution spaces.

Empirical findings on the link between Quality 4.0 and innovation performance are also beginning to emerge. Using panel data from 270 publicly listed firms in China's Yangtze River Delta region, Deng et al. (2025) report a significant relationship between Quality 4.0 maturity and innovation performance. They also show that the relationship may be nonlinear and inverted U-shaped. This finding indicates that digital quality investments do not automatically generate unlimited innovation outcomes; alignment among technology, organization, and management practices is crucial.

Accordingly, within the Intelligent Quality approach, innovation is considered not as a separate outcome outside quality management, but as a potential output of the learning cycle. Discovering patterns in recurring nonconformities can lead to new process designs; analyzing trends in customer complaints can generate new product features; modeling supplier-performance data can suggest new forms of collaboration; and uncovering hidden relationships in process data can initiate new improvement projects. Quality data thus become a strategic knowledge asset for innovation rather than merely a retrospective record proving conformance.

5. PROPOSED CONCEPTUAL FRAMEWORK FOR INTELLIGENT QUALITY

The central assumption of the proposed framework is that the digital transformation of quality management is not completed simply by adding technological tools. Genuine transformation occurs when data can be converted into foresight, foresight into learning, and learning into better decisions and innovation. The framework therefore comprises four levels of development and the capabilities that connect them.

At the first level, "Conformance and Control," the central question is whether a product or process meets defined requirements. At the second level, "Prevention and Continuous Improvement," the focus shifts to preventing defects before they occur and systematically improving process performance. At the third level, "Quality 4.0," digital connectivity, real-time data, big data analytics, and automation are integrated into the quality system. The fourth level, "Intelligent Quality," refers to developing the system's capacity for prediction, pattern discovery, learning, and decision support through AI.

At the Intelligent Quality level, the proposed core cycle is "Predict → Detect → Analyze → Learn → Decide → Innovate." The continuity of the cycle is essential: decision outcomes generate new data, which then become inputs for subsequent analyses. The quality system thereby moves beyond a static set of procedures toward a dynamic management infrastructure capable of learning from experience.

The success of the framework depends on three fundamental layers. The technological layer comprises data infrastructure, sensors, integration, analytics, and AI models. The managerial layer includes process ownership, quality methodologies, strategic priorities, and performance management. The human and governance layer encompasses competencies, ethics, explainability, accountability, and human oversight. Weakness in any one of these layers may prevent a technologically advanced system from generating the expected quality and innovation value.

The proposed model therefore adopts a socio-technical rather than technology-centered perspective, consistent with the Industry 5.0 emphasis on human-centricity, sustainability, and resilience (Breque et al., 2021). The purpose of AI is not to eliminate the judgment of quality professionals, but to expand human analytical capacity and support earlier, more consistent, and better-informed decisions.

6. DISCUSSION AND MANAGERIAL IMPLICATIONS

The proposed Intelligent Quality approach entails several managerial implications for organizations. First, AI investments should not be initiated as technology projects detached from quality problems. Organizations should first determine which quality decision is to be improved, which data are required, and to which process owner's decision the output will be linked. Otherwise, advanced technology investments may fail to generate operational value.

Second, data quality is a prerequisite for Intelligent Quality. Incomplete, inaccurate, inconsistent, or context-free data will not yield reliable results even when advanced algorithms are used. Data governance, measurement-system reliability, and clearly defined data ownership must therefore be treated as integral components of quality transformation.

Third, human oversight must be maintained. Some quality decisions may have significant consequences for safety, customers, regulatory compliance, and ethics. Algorithmic recommendations should be explainable, human validation should continue for critical decisions, and model performance should be monitored over time. Intelligent Quality should be understood not as "human-free quality," but as a system in which the complementary capabilities of humans and AI are used together.

Finally, data and knowledge flows between the quality and innovation functions should be strengthened. Nonconformity, audit, customer-feedback, process-performance, and root-cause data accumulated in quality systems can provide valuable inputs for R&D and innovation teams. Such integration can help transform quality management from a function that merely assures conformance into a structure that supports strategic learning and innovation capacity throughout the organization.

7. CONCLUSION

AI and digital technologies are changing the future of quality management not only at the level of tools, but also at the level of managerial logic. The data-driven transformation initiated by Quality 4.0 is advancing further through AI capabilities in prediction, pattern recognition, learning, and decision support. This study conceptualizes this stage as Intelligent Quality and explains the development of quality management as a progression from conformance and control to prevention and continuous improvement, and from Quality 4.0 to AI-enabled Intelligent Quality.

The principal theoretical contribution of the study is to bring together the quality management and AI literatures from an innovation management perspective. In the proposed approach, AI is not merely an automation technology that detects nonconformities more quickly. It forms part of a managerial capability that can predict quality risks, facilitate causal analysis, foster organizational learning, and reveal innovation opportunities.

Nevertheless, the study is conceptual, and the proposed framework requires empirical testing. Future research should develop scales for measuring Intelligent Quality maturity, examine the effects of AI use on quality and innovation performance across sectors, and test the moderating roles of human oversight, algorithmic transparency, and data governance. Such research would clarify the theoretical boundaries and practical value of Intelligent Quality.

REFERENCES

Breque, M., De Nul, L., & Petridis, A. (2021). Industry 5.0: Towards a sustainable, human-centric and resilient European industry. European Commission, Directorate-General for Research and Innovation. https://doi.org/10.2777/308407

Deng, Y., Cai, C., He, Z., & Wang, H. (2025). How does Quality 4.0 affect innovation performance? An empirical study from the Yangtze River Delta region of China. International

Journal of Quality & Reliability Management, 42(10), 2767–2792. https://doi.org/10.1108/IJQRM-06-2024-0186

Escobar, C. A., McGovern, M. E., & Morales-Menendez, R. (2021). Quality 4.0: A review of big data challenges in manufacturing. Journal of Intelligent Manufacturing, 32, 2319–2334. https://doi.org/10.1007/s10845-021-01765-4

Gama, F., & Magistretti, S. (2025). Artificial intelligence in innovation management: A review of innovation capabilities and a taxonomy of AI applications. Journal of Product Innovation Management, 42(1), 76–111. https://doi.org/10.1111/jpim.12698

Huang, Y., Tan, Y., Li, Y., Li, Y., & Tsui, K.-L. (2026). AI for quality management: A review. Frontiers of Engineering Management, 13(2), 292–334. https://doi.org/10.1007/s42524-026-5394-x

Liu, H.-C., Liu, R., Gu, X., & Yang, M. (2023). From total quality management to Quality 4.0: A systematic literature review and future research agenda. Frontiers of Engineering Management, 10(2), 191–205. https://doi.org/10.1007/s42524-022-0243-z

Olaitan, J., & Elshennawy, A. (2024). Quality 5.0 architecting: A techno-human-centric integrated framework. Proceedings of the 9th North American Conference on Industrial Engineering and Operations Management, Washington, DC, USA. https://doi.org/10.46254/NA09.20240130

Oliveira, A. C. A., Pinho, A. F. D., & Brendon, M. F. (2026). Quality 4.0: A systematic literature review and future research agenda for the digital transformation of quality management. International Journal of Quality & Reliability Management, 43(6), 1650–1673. https://doi.org/10.1108/IJQRM-05-2025-0165

Oliveira, D., Alvelos, H., & Rosa, M. J. (2025). Quality 4.0: Results from a systematic literature review. The TQM Journal, 37(2), 379–456. https://doi.org/10.1108/TQM-01-2023-0018

TOURISM ATTRACTION POTENTIAL AND FINANCING ARCHITECTURE IN THE EASTERN BLACK SEA PROVINCES: AN EXPLORATORY PROVINCE-LEVEL INDEX AND SUSTAINABLE INCENTIVE DESIGN

Assist. Prof. Dr. Osman ALTAY
Istanbul Ticaret University, Faculty of Business, Department of International Trade and Finance, Istanbul, Türkiye
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-2298-0620

ABSTRACT

This study develops a Tourism Attraction Potential Index (TAPI) that measures the tourism attraction potential of the six provinces of Türkiye's Eastern Black Sea Region (Ordu, Giresun, Trabzon, Rize, Artvin and Gümüşhane) at the provincial level, and proposes a sustainable tourism financing model based on the findings. The theoretical framework rests on the destination competitiveness literature (Ritchie & Crouch, 2003). The index takes five dimensions into account: natural and cultural assets, transport accessibility, accommodation capacity, demand and seasonality, and access to finance. Data from the State Airports Authority (DHMİ), the Ministry of Culture and Tourism, the General Directorate of Nature Conservation and National Parks (DKMP) and the Ministry of Industry and Technology are incorporated into the index through min-max normalisation, and the robustness of the findings is tested with a random-weighting (Monte Carlo) sensitivity analysis.

The findings point to a pronounced potential-performance mismatch. While Trabzon leads on both dimensions (TAPI: 0.81), Giresun ranks second in the index yet remains in the lower cluster in tourism performance, displaying a profile of 'idle potential'. Rize, in turn, performs above its potential and, with the region's highest seasonality coefficient, signals saturation. Approximately 61% of the fixed tourism investments covered by investment incentive certificates issued for the accommodation sector in the six provinces is concentrated in Trabzon alone. The share of incentivised investment in the idle-potential provinces has therefore remained highly limited.

This picture demonstrates that uniform incentive instruments are inadequate. The study proposes a financing architecture differentiated by province typology. In the proposed model, investment incentives and credit guarantee mechanisms are prioritised for idle-potential provinces; carrying-capacity management and green transformation finance for saturating destinations; and access infrastructure and certification support for provinces in the development cluster.

Key Words: Tourism Finance; Destination Competitiveness; Composite Index; Investment Incentives; Eastern Black Sea

DOĞU KARADENİZ İLLERİNDE TURİZM ÇEKİM POTANSİYELİ VE FİNANSMAN MİMARİSİ: İL BAZLI BİR ENDEKS DENEMESİ VE SÜRDÜRÜLEBİLİR TEŞVİK TASARIMI

ÖZET

Bu çalışmada, Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki altı ilin (Ordu, Giresun, Trabzon, Rize, Artvin, Gümüşhane) turizm açısından ne kadar çekici olduğunu ölçmek üzere bir Turizm Çekim Potansiyeli Endeksi (TÇPE) geliştirilmiştir. Endeks sonuçlarına dayanarak bölgeye yönelik sürdürülebilir bir turizm finansman modeli önerisi sunulmuştur. Teorik çerçeve destinasyon rekabetçiliği literatürüne dayanmaktadır (Ritchie ve Crouch, 2003). Beş ana boyut üzerinden

kurgulanan endeks şu unsurları dikkate alır: doğal ve kültürel varlıklar, ulaşım erişilebilirliği, konaklama kapasitesi, talep ve mevsimsellik ile finansman kullanımı. Kullanılan veriler DHMİ, Kültür ve Turizm Bakanlığı, DKMP ve Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı gibi kamu kurumlarından alınmıştır. Veriler min-maks normalizasyonuyla endekse dâhil edilmiş, bulguların sağlamlığı ise rastgele ağırlıklandırma yöntemiyle (Monte Carlo benzetimi) test edilmiştir. Mevsimsellik katsayısı, aylık geceleme sayıları üzerinden hesaplanan değişim katsayısıdır (standart sapma / ortalama) ve yüksek değer, talebin belli aylarda yoğunlaştığını gösterir.

Araştırma sonuçları, potansiyel ile gerçekleşen performans arasında belirgin bir uyumsuzluk olduğunu ortaya koymaktadır. Trabzon, hem potansiyel (TÇPE: 0,81) hem de performans açısından ilk sırada yer almaktadır. Buna karşın Giresun, endeks sıralamasında ikinci olmasına rağmen turizm performansı alt grupta kalmakta ve "atıl potansiyel" görünümü sergilemektedir. Rize ise performansı potansiyelinin üzerinde seyretmekte olup bölgenin en yüksek mevsimsellik katsayısına sahiptir; bu durum taşıma kapasitesi açısından bir doygunluk sinyali olarak yorumlanmaktadır. 2019-2023 döneminde verilen konaklama yatırım teşviklerinin reel olarak %61'inin Trabzon'da yoğunlaştığı, buna karşılık atıl potansiyele sahip illerin en az payı alan iller olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, mevcut teşvik yapısının hâlihazırda güçlü olan destinasyonları daha da desteklediğini, potansiyeli yüksek ancak performansı düşük illere yeterince yönelmediğini göstermektedir.

Bu tablo, tek tip teşvik araçlarının yetersiz kaldığını ortaya koymaktadır. Çalışma, her ilin kendi durumuna göre şekillendirilmiş bir finansman modeli önermektedir: atıl potansiyelli iller için yatırım teşvikleri ve kredi garanti mekanizmaları; doygunluk belirtisi gösteren destinasyonlar için taşıma kapasitesi yönetimi ve yeşil dönüşüm finansmanı; gelişmekte olan iller için ise ulaşım altyapısı ve belgelendirme desteği önceliklendirilmelidir.

Anahtar Kelimeler: Turizm finansmanı, destinasyon rekabetçiliği, bileşik endeks, yatırım teşvikleri, Doğu Karadeniz

1. GİRİŞ

Doğu Karadeniz Bölgesi, yaylaları, korunan doğal alanları ve zengin kültürel mirasıyla Türkiye'nin doğa temelli turizm potansiyeli en yüksek bölgelerinden biridir (Kaya ve Yıldırım, 2020). Ne var ki bölgenin ülke turizm pastasından aldığı pay oldukça sınırlıdır. Talep hem birkaç ilde yoğunlaşmakta hem de yılın dar bir dönemine sıkışmaktadır. Bu durum iki yönlü bir politika sorununu beraberinde getirir: bir yanda potansiyelini harekete geçiremeyen iller, diğer yanda giderek artan ziyaretçi baskısı altında taşıma kapasitesinin sınırlarına dayanan destinasyonlar.

Bu çalışmanın amacı, bahsedilen açığı il düzeyinde ölçülebilir kılmak ve bu bulguları finansman politikasına dönüştürmektir. Çalışmada üç temel araştırma sorusu izlenmektedir: (i) Doğu Karadeniz illerinin turizm çekim potansiyeli nasıl ölçülebilir? (ii) Potansiyel ile fiili performans arasındaki fark hangi illerde daha belirgindir? (iii) Bu farkı kapatmaya yönelik teşvik ve finansman mekanizmaları nasıl farklılaştırılmalıdır?

Çalışmanın özgün katkısı iki düzeydedir. İlki, ülke ölçeğindeki çekim faktörü modellerini il bazına uyarlayan ve tamamı açık kamu verilerine dayanan tekrarlanabilir bir bileşik endeks önerilmesidir. İkincisi, endeks bulgularının bir potansiyel-performans matrisi aracılığıyla il tipolojisine dönüştürülmesi ve her il tipi için somut finansman araçları geliştirilmesidir. Bu yönüyle çalışma, destinasyon rekabetçiliği literatürü ile bölgesel teşvik politikası arasında bir köprü kurmayı hedeflemektedir.

Bildirinin kalan bölümleri şöyle düzenlenmiştir: İkinci bölüm ilgili literatürü özetlemekte, üçüncü bölüm yöntemi, dördüncü bölüm veri setini tanıtmaktadır. Beşinci bölüm bulguları, altıncı bölüm finansman ve teşvik tasarımını sunmakta; yedinci bölüm sonuç ve politika

önerileriyle bildiriyi tamamlamaktadır.

2. LİTERATÜR

Bu çalışmanın birincil kuramsal dayanağı destinasyon rekabetçiliği literatürüdür (Crouch ve Ritchie, 1999; Ritchie ve Crouch, 2003); destinasyonların çekici özelliklerini çok boyutlu göstergelerle ölçen bu yaklaşım, uygulamada Dünya Ekonomik Forumu'nun Seyahat ve Turizm Gelişme Endeksi gibi bileşik göstergelere zemin hazırlamıştır (World Economic Forum, 2024). Dwyer ve Kim (2003), bu kuramsal çerçeveyi arz ve talep yönlü belirleyicileri birlikte ele alan bir gösterge setine dönüştürerek destinasyon rekabetçiliğinin ölçülebilir bileşenlerini sistematik biçimde ortaya koymuştur. Çekim-itme faktörleri teorisi (Dann, 1977; Crompton, 1979) ise genel motivasyonel çerçeveye referans olarak korunmakla birlikte, endeks yalnızca arz yönlü destinasyon özelliklerini ölçmekte; turist motivasyonlarına dayanan itme faktörleri il düzeyinde gözlemlenemeyen niteliğiyle çalışmanın kapsamı dışında tutulmaktadır. Destinasyon rekabetçiliği çalışmaları ağırlıkla ülke düzeyinde kalmakla birlikte, bölge içi karşılaştırmalara yönelen örnekler de vardır: Cracolici ve Nijkamp (2009), Güney İtalya bölgeleri için destinasyon çekiciliğini ve rekabetçiliğini çok göstergeli biçimde ölçmüş ve çekicilik ile fiili rekabetçi performansın örtüşmediğini göstermiştir. Türkiye özelinde Kervankıran ve Sert Eteman (2020), 81 il için temel bileşenler analizine dayalı bir turizm gelişmişlik endeksi kurarak turizmin İstanbul ile Ege ve Akdeniz kıyılarında yoğunlaştığını, bu yoğunlaşmanın bölgesel gelişme farklarını derinleştirdiğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte il/bölge ölçeğinde, finansmana erişimi açık bir boyut olarak içeren endeks uygulamaları görece seyrektir. TÇPE bu boşluğa yönelmektedir.

İkinci ilgili damar, destinasyon yaşam döngüsü ve taşıma kapasitesi literatürüdür. Butler'ın (1980) destinasyon yaşam döngüsü modeli, talebin belirli eşiklerin üzerine çıktığı destinasyonlarda doygunluk ve bozulma risklerine işaret eder; mevsimsellik ise turizmin en kalıcı yapısal sorunlarından biri olarak hem işletme kârlılığını hem de kaynak kullanımını bozar (Baum ve Lundtorp, 2001; Koenig-Lewis ve Bischoff, 2005). Talebin yılın dar bir dönemine ve birkaç merkeze sıkışması, taşıma kapasitesinin zorlandığı destinasyonlarda son yıllarda hızla genişleyen aşırı turizm (overtourism) tartışmasının da çekirdeğini oluşturmaktadır (Capocchi vd., 2019). Rize-Artvin hattında son yıllarda gözlenen yoğunlaşma ve yük dağıtımı ihtiyacı bu çerçevede tartışılmıştır (Altay, 2025).

Üçüncü damar, turizmin finansman boyutudur. Turizm yatırımları sermaye-yoğun ve geri dönüş süreleri uzun olduğundan, özellikle küçük ve orta ölçekli konaklama işletmelerinin krediye erişimi kısıtlıdır; bu nedenle kamu teşvikleri, kalkınma ajansı destekleri ve kredi garanti mekanizmaları sektörün yatırım dinamiğinde belirleyici rol oynar (OECD, 2024). Öte yandan bölgesel teşvik literatürü, desteklerin kendiliğinden dengeleyici olmadığını; uygulamada yatırımların hâlihazırda güçlü merkezlerde yoğunlaşma eğilimi taşıyabildiğini göstermektedir. Nitekim Yavan (2012), 2001-2008 döneminde 81 il için yaptığı mekânsal ve istatistiksel çözümlemede, yatırım teşviklerinin il düzeyindeki dağılımının gelir düzeyi, mevcut sanayi yatırımlarının varlığı ve dışa açıklık gibi ekonomik etkenlerin yanı sıra kurumsal ve siyasal etkenlerce de biçimlendiğini; işsizlik oranı gibi ihtiyaç göstergelerinin ise belirleyici olmadığını bulgulamıştır. Bu çalışma, söz konusu yoğunlaşma mekanizmasını Doğu Karadeniz turizmi özelinde nicel olarak belgelemekte ve endeks temelli bir tahsis mantığı önermektedir. Yöntemsel olarak ise yazarın ülke düzeyindeki çift yönlü turizm akışları analizinde geliştirdiği çekim potansiyeli yaklaşımının (Altay, 2026) il ölçeğine uyarlanmış hâlidir.

Türkiye özelindeki çalışmalar da benzer bir yoğunlaşma desenine işaret etmektedir. Turizm yatırım teşviklerinden en yüksek payı alan iller, turizm potansiyeli hâlihazırda değerlenmiş, yerleşik destinasyonlardır; Antalya örneğinde teşvik talebinin zaman içinde gerilemesi, kültür ve turizm koruma ve gelişim bölgelerindeki doluluk artışıyla — yani bir tür doygunlaşmayla

— ilişkilendirilmiştir (Mutlu ve Başer, 2020). Bu bulgular, teşvik akışının kendiliğinden yerleşik merkezlere yöneldiği ve doygun destinasyonlarda getirisinin azaldığı yönündeki genel eğilimi Türkiye bağlamında doğrulamaktadır. Eldeki çalışmanın katkısı, aynı deseni bölge içi (il) ölçekte nicelleştirmek ve tahsis mantığını potansiyel-performans makasına bağlayan uygulanabilir bir çerçeve önermektir.

3. YÖNTEM: TURİZM ÇEKİM POTANSİYELİ ENDEKSİNİN İL DÜZEYİNE UYARLANMASI

TÇPE beş boyuttan oluşmaktadır: (i) doğal ve kültürel varlık, (ii) ulaşım erişilebilirliği, (iii) konaklama kapasitesi, (iv) talep ve mevsimsellik, (v) finansman kullanımı. İlk dört boyut ikişer göstergeyle, finansmana erişim boyutu ise tek göstergeyle (reel yatırım teşviki) temsil edilmekte; toplam dokuz gösterge kullanılmaktadır (Tablo 1). Endeksin kurgusunda izlenen adımlar — gösterge seçimi, normalizasyon, ağırlıklandırma, toplulaştırma ve sonuçların duyarlılık analiziyle sınanması — bileşik göstergelere ilişkin yerleşik yöntem çerçevesiyle uyumludur (OECD ve JRC, 2008). Kalkınma ajansı desteği başlangıçta aday gösterge olarak derlenmiş; ancak il kırılımlı yayımın yalnızca 2019-2020 dönemini kapsaması nedeniyle nihai endekse dâhil edilmemiştir. Bu göstergenin eklendiği genişletilmiş sürümde il sıralamasının değişmediği ayrıca doğrulanmıştır (Bölüm 5.3).

Göstergeler farklı ölçü birimleri içerdiğinden min-maks normalizasyonu uygulanmış ve her gösterge [0,1] aralığına dönüştürülmüştür (OECD ve JRC, 2008). Boyutlar ve göstergeler, kuramsal bir öncelik sırası bulunmadığından eşit ağırlıklandırılmış; bu tercihin sonuçlara etkisi Bölüm 5.3'te rastgele ağırlıklandırma ile sınanmıştır. İstanbul'a karayolu uzaklığı ve mevsimsellik katsayısı, çekim gücüyle ters yönde ilişkili oldukları için ters kodlanmıştır. Mevsimsellik katsayısı, aylık geceleme sayılarının değişim katsayısı (standart sapma / ortalama) olarak hesaplanmıştır; değişim katsayısı, turizm yazınında mevsimsellik yoğunluğunun ölçülmesinde yaygın olarak kullanılan ölçütlerden biridir (Cuccia ve Rizzo, 2011). Yüksek değer talebin yıl içinde yoğunlaştığını gösterir. Mevsimselliğin ters kodlanması, "talebi yıl içine yayılmış destinasyonun daha sürdürülebilir olduğu" normatif bir varsayıma dayanır. Bu bir değer yargısıdır ve yüksek mevsimselliğin her koşulda olumsuz olmadığı kabul edilmelidir: kimileyin destinasyonlar belirli bir sezona odaklanarak avantaj sağlayabilir. Mevsimsellik ancak taşıma kapasitesinin aşılmasına ya da ekonomik istikrarsızlığa yol açtığında politika müdahalesini gerektirir.

Endeks bulgularının politika tasarımına bağlanabilmesi için iller, çekim potansiyeli (TÇPE) ve fiili performans (2025 geceleme) ekseninde medyan değerlerine göre dört kümeye ayrılmıştır. Küme tanımları şöyledir: (i) "Yıldız": TÇPE > medyan VE geceleme > medyan; (ii) "Atıl potansiyel": TÇPE > medyan VE geceleme < medyan; (iii) "Doygunluk sinyali": TÇPE < medyan VE geceleme > medyan; (iv) "Gelişme": TÇPE < medyan VE geceleme < medyan. Bu sınıflandırma bölge içi göreli konumlara dayanır, mutlak yargılar içermez. Medyan değerleri sırasıyla 0,286 (TÇPE) ve 427.054 (geceleme) olarak belirlenmiştir. Altı gözlemli bir örneklemde medyan eşiği kullanmanın sınıra yakın illerde hassasiyet yaratabileceği açıktır; bu nedenle medyan değerleri açıkça raporlanmış, küme üyelikleri duyarlılık analizleriyle birlikte değerlendirilmiştir. Endeksin kurulumu, varyantları ve duyarlılık sınamalarının tamamı Stata 14 ortamında yürütülmüştür.

4. VERİ

Çalışmanın örneklemini Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki altı il oluşturmaktadır: Ordu, Giresun, Trabzon, Rize, Artvin ve Gümüşhane. Veriler Ağustos 2026'da derlenmiş olup tümü kamuya açık resmî kaynaklardan elde edilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Gösterge Seti, Tanımlar ve Veri Kaynakları

Boyut	Gösterge	Tanım / Dönem	Kaynak
Doğal-kültürel varlık	G1 Korunan alan sayısı	Millî park, tabiat parkı, tabiat anıtı, tabiatı koruma alanı (2025)	DKMP
	G2 Tescilli taşınmaz kültür varlığı	2025 yıl sonu	KVMGM
Ulaşım erişilebilirliği	G3 Havalimanı yolcu trafiği	2025; ortak havalimanları iki ile %50-%50	DHMİ
	G4 İstanbul'a karayolu uzaklığı (ters)	km	KGM
Konaklama kapasitesi	G5 Turizm işletme belgeli tesis	2025	KTB-YİGM
	G6 Turizm işletme belgeli yatak	2025	KTB-YİGM
Talep-mevsimsellik	G7 Yıllık geceleme	2025, Bakanlık belgeli tesisler	KTB-YİGM
	G8 Mevsimsellik katsayısı (ters)	Aylık geceleme değişim katsayısı, 2025	KTB-YİGM
Finansmana erişim	G9 Turizm yatırım teşviki (reel)	Konaklama sektörü sabit yatırım, 2019-2023/8; 2023M8 fiyatları	STB
Sağlamlık göstergesi*	Kalkınma ajansı desteği	DOKA il bazlı destek, 2019-2020	DOKA

** Nihai endekse dâhil edilmeyen, yalnızca duyarlılık analizinde kullanılan gösterge. STB: Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı. Aylık geceleme toplamlarının yıllık bültenle tutarlılığı altı il için doğrulanmıştır; tüm kaynak belgeler ve erişim kayıtları çalışmanın veri arşivinde saklanmaktadır ve talep hâlinde paylaşılabilir.*

Veri setinin üç önemli sınırı bulunmaktadır. Birincisi, konaklama ve geceleme göstergeleri yalnızca turizm işletme belgeli tesisleri kapsamaktadır. Belediye belgeli tesislere ilişkin istatistikler il bazında düzenli olarak yayımlanmadığı için 2025 için bütünleşik bir seri oluşturulamamıştır. Özellikle pansiyon ve küçük işletmelerin yoğun olduğu Gümüşhane ve Artvin gibi illerde bu durum, kapasite ve talebin olduğundan düşük ölçülmesine yol açabilir. Bulgular yorumlanırken bu olasılık göz önünde bulundurulmalıdır. İkincisi, yatırım teşvik verilerinin il-sektör kırılımıyla yayımı Ağustos 2023'te sona ermiştir. 2019-2023/8 dönemi nominal tutarları, yüksek enflasyon ortamında karşılaştırılabilirliği sağlamak amacıyla TÜFE (2003=100) kullanılarak Ağustos 2023 fiyatlarına dönüştürülmüştür. Üçüncüsü, kalkınma ajansı desteklerine ilişkin il bazlı veriler yalnızca 2019-2020 için yayımlandığından bu değişken nihai endekse dahil edilmemiş, yalnızca sağlamlık sınamasında kullanılmıştır.

5. BULGULAR

5.1. Endeks Skorları ve İl Sıralaması

Eşit ağırlıklı ana senaryoya göre TÇPE skorları Tablo 2'de verilmiştir. Trabzon 0,810 ile açık ara ilk sıradadır. Konaklama kapasitesi ve finansman kullanımı boyutlarında tam skora sahiptir. Giresun (0,334) ve Ordu (0,316) birbirine yakın skorlarla ikinci ve üçüncü sıradadır. İki ilin asıl ayrıştığı nokta performanstır: Ordu 2025'te 626 bin geceleme ile medyanın (427 bin) üzerinde kalırken, Giresun 346 bin gecelemeyle medyanın altındadır. Bu fark, benzer potansiyele sahip iki komşu ilin farklı politika kümelerinde yer almasına neden olmaktadır. Gümüşhane (0,255) bölgenin en yüksek korunan alan varlığına sahip olmasına karşın, bölgenin en düşük belgeli konaklama kapasitesiyle (7 tesis, 546 yatak) dördüncü sıradadır. Rize (0,216) bölgenin en yüksek mevsimsellik katsayısına (0,74) sahip olduğu için beşinci; Artvin (0,172) ise ulaşım erişilebilirliğindeki zayıflığıyla altıncı sırada yer almaktadır. Gümüşhane ve Artvin'in düşük konaklama skorlarının bir kısmı, belediye belgeli küçük işletmelerin veri kapsamı dışında kalmasından kaynaklanıyor olabilir (Bölüm 4).

Tablo 2. TÇPE Boyut Skorları, Endeks Değerleri ve Küme Üyelikleri (Eşit Ağırlık)

İl	Doğal-Kült.	Ulaşım	Konaklama	Talep-Mevsim	Finansman	TÇPE	Sıra	Küme
Trabzon	0,750	0,782	1,000	0,519	1,000	0,810	1	Yıldız
Giresun	0,450	0,522	0,082	0,565	0,052	0,334	2	Atıl potansiyel
Ordu	0,089	0,575	0,205	0,510	0,202	0,316	3	Yıldız
Gümüşhane	0,567	0,245	0,000	0,464	0,000	0,255	4	Gelişme
Rize	0,350	0,260	0,230	0,093	0,146	0,216	5	Doygunluk sinyali
Artvin	0,344	0,075	0,057	0,248	0,138	0,172	6	Gelişme

Not: Küme sınırları medyan değerlere göredir (TÇPE medyanı: 0,286; geceleme medyanı: 427.054). Finansman boyutu reel yatırım teşvikine dayanmaktadır (2023M8 fiyatları). Boyut skorları min-maks normalizasyonla üretildiğinden 0,000 ve 1,000 değerleri bölge içi en düşük ve en yüksek gözlemi gösterir; 0,000 ilgili göstergenin yokluğu anlamına gelmez.

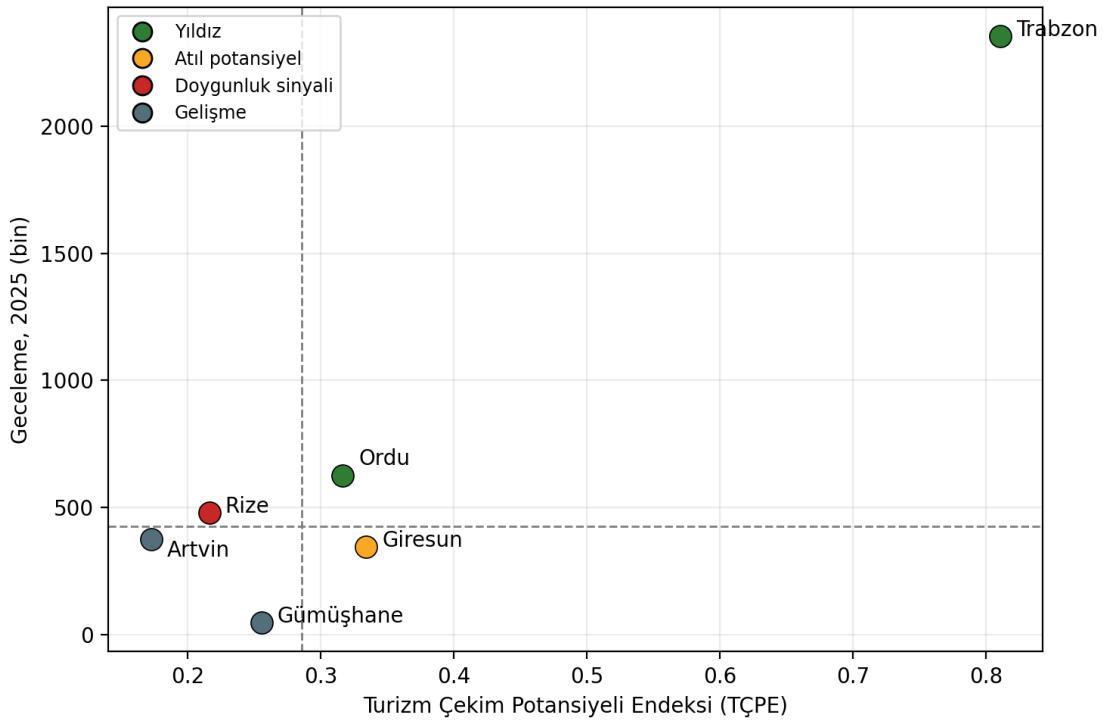
5.2. Potansiyel-Performans Matrisi

Endeks skorları fiili performansla karşılaştırıldığında çalışmanın temel bulgusu ortaya çıkmaktadır (Şekil 1). Endeksin hesaplanmasında geceleme göstergesi dışlanarak yeniden hesaplanan endeks ile performans arasındaki Spearman sıra korelasyonu 0,371'dir. n=6 örnekleminde istatistiksel anlamlılık testi güvenilir sonuç vermeyeceğinden (α=0,05 düzeyinde kritik değer $\rho \approx 0,886$) bu değer keşfedici ve yön gösterici olarak sunulmaktadır; hipotez testi değil, betimsel bir ilişki özetidir. Temel çıkarım şudur: illerin çekim potansiyeli, gerçekleşen talebi tek başına açıklamamaktadır ve bu açıklık politika müdahalesi için bir alan yaratmaktadır. Bu düşük korelasyonda Trabzon'un hem endeks hem performans değerlerindeki aykırı ölçeğinin de payı olabilir; Trabzon dışlandığında kalan beş il arasındaki ilişki farklılaşabilir, ancak örneklem küçüklüğü bu alt kümede anlamlı bir test yapılmasına imkân vermemektedir.

Küme profilleri politika açısından üç dikkat çekici durumu göstermektedir. Birincisi, Giresun endeks sıralamasında ikinci olmasına rağmen performansta alt kümede kalmakta ve bölgenin en belirgin "atıl potansiyel" örneğini oluşturmaktadır. Doğal-kültürel varlık ve talep istikrarı görece iyidir, ancak konaklama kapasitesi (0,082) ve finansman kullanımı (0,052) skorları

bölgenin en düşüklerindedir. İkincisi, Rize performansı potansiyelini aşan tek il olarak doygunluk sinyali vermektedir. Finansman kullanımı skoru (0,146) Giresun'un yaklaşık üç katıdır. Bu durum, Rize'nin sorununun yatırım çekememek değil, yüksek mevsimsellikle (0,74) birleşen dönemsel taşıma kapasitesi baskısı olduğuna işaret etmektedir. Dolayısıyla ilin ihtiyacı yeni yatak kapasitesi finansmanından çok mevsimsellik yönetimi araçlarıdır. Üçüncüsü, Gümüşhane bölgenin en yüksek korunan alan sayısına sahip olmasına karşın hem kapasite hem yatırım çekme açısından son sırada yer almakta, potansiyeli finansmana en az erişen il konumundadır.

Şekil 1. Potansiyel-Performans Matrisi (kesikli çizgiler: medyanlar)



Kaynak: Yazarın hesaplamaları. Kesikli çizgiler TÇPE ve geceleme medyanlarını göstermektedir.

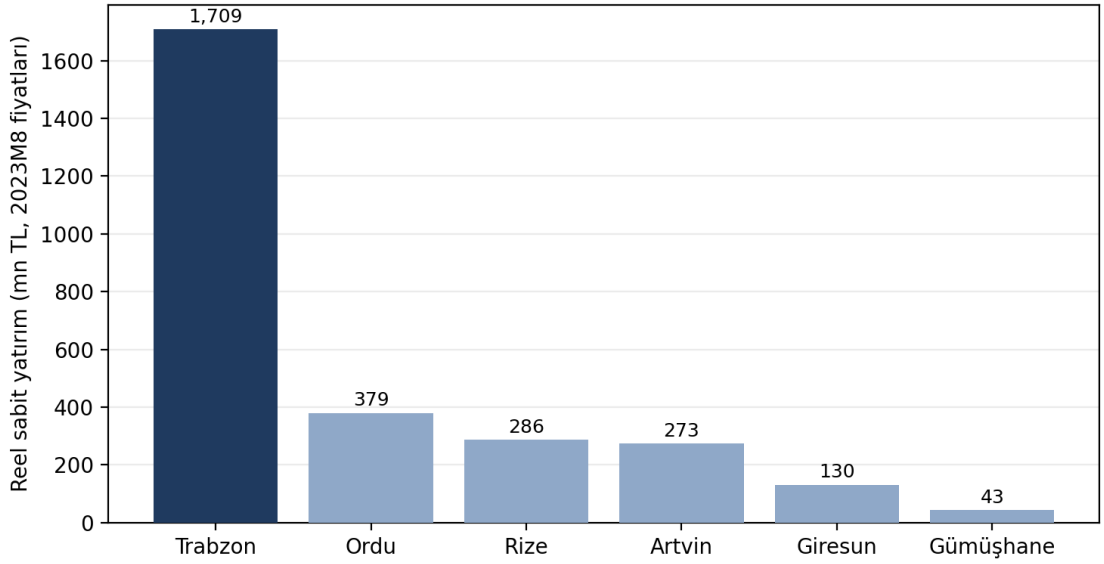
5.3. Sağlamlık Sınamaları

Bileşik göstergelerde ağırlık ve normalizasyon tercihlerinin sıralamalar üzerindeki etkisinin belirsizlik ve duyarlılık analizleriyle sınanması, endeksin güvenilirliği açısından yerleşik bir kalite ölçütüdür (Saisana vd., 2005). Bu doğrultuda bulguların dayanıklılığı üç farklı sınamayla test edilmiştir. Birincisi, kalkınma ajansı desteğinin eklendiği genişletilmiş endeks sürümünde il sıralaması değişmemektedir. İkincisi, yatırım teşvikleri nominal değerlerle kullanıldığında da sıralama aynı kalmakta; bu durum sonuçların enflasyon düzeltmesi tercihine duyarlı olmadığını göstermektedir. Üçüncüsü, 1.000 tekrarlı Monte Carlo benzetiminde Trabzon'un ilk sıradaki konumu tüm çekilişlerde (%100) korunmakta, Giresun ise çekilişlerin %91'inde ilk üçte yer almaktadır. Giresun ile Ordu arasındaki ikinci-üçüncü sıralama ağırlık seçimine göre değişebilmekle birlikte, bu iki ilin küme üyelikleri sıralamadan değil performans farkından kaynaklandığı için tipolojiyi etkilememektedir. Tüm sınamalar Stata 14 ortamında yürütülmüş olup do-dosyası ve çıktı kayıtları çalışmanın veri arşivinde saklanmakta ve talep hâlinde paylaşılabilmektedir.

5.4. Finansman Kullanımının Mekânsal Yoğunlaşması

Finansman boyutuna daha yakından bakıldığında, 2019-2023/8 döneminde konaklama sektörüne verilen yatırım teşvik belgelerinin sabit yatırım tutarı, 2023 Ağustos fiyatlarıyla bölge genelinde yaklaşık 2,8 milyar TL'dir ve bunun %61'i (1,71 milyar TL) yalnızca Trabzon'da yoğunlaşmıştır (Şekil 2). Ordu (379 mn TL), Rize (286 mn TL) ve Artvin (273 mn TL) orta büyüklükte pay alırken, Giresun (130 mn TL) ve özellikle Gümüşhane'ye (43 mn TL) ayrılan kaynak oldukça sınırlı kalmıştır. Böylece temel politika sorunu nicel olarak netleşmektedir: mevcut teşvik dağılımı, potansiyel açığını kapatmak yerine hâlihazırda güçlü olan destinasyonu daha da güçlendirmekte, atıl potansiyele sahip iller yatırım finansmanından en düşük payı alan iller olmaktadır.

Şekil 2. Konaklama Yatırım Teşviklerinin İl Dağılımı (2019-2023/8, reel)



Kaynak: Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı yatırım teşvik belge listelerinden yazarın hesaplamaları (TÜFE, 2003=100 ile 2023M8 fiyatlarına dönüştürülmüştür).

6. FİNANSMAN VE TEŞVİK TASARIMI

Bulgular, tek tip teşvik araçlarının bölge içi farklılıkları dikkate almadığını açıkça göstermektedir. Bu bölümde, potansiyel-performans matrisinden türetilen il tipolojisine göre farklılaştırılmış bir araç seti önerilmektedir (Tablo 3). Önerinin temel ilkesi: finansman aracı, ilin içinde bulunduğu kısıta göre seçilmelidir. Kapasite kısıtı olan ilde yatırım finansmanı, talep kısıtı olan ilde pazarlama ve erişim desteği, doygunluk sinyali veren ilde ise kapasite yönetimi ve dönüşüm finansmanı önceliklidir.

Tablo 3. İl Tipolojisine Göre Farklılaştırılmış Finansman ve Teşvik Mimarisi

Küme	İl(ler)	Politika Hedefi	Önerilen Araçlar	Uygulama Kanalları ve Koordinasyon
Yıldız	Trabzon	Sürdürülebilir kalite ve kapasite yönetimi	Sürdürülebilirlik sertifikasyonu bağlantılı kredi faiz indirimi; MICE altyapı desteği; dört mevsim ürün geliştirme; yeni yatak teşviki yerine dönüşüm finansmanı	KTB teşvik mevzuatı; TGA ve TÜRSAB ile ortak destinasyon planı; DOKA sonuç odaklı programları

Yıldız	Ordu	Bağlantısallık ve ürün derinliği	Giresun ile entegre rota ve ortak pazarlama; orta ölçekli tesis modernizasyonuna faiz destekli kredi	DOKA ortak proje çağrısı (Ordu-Giresun); KGM/ulaştırma yatırım programı koordinasyonu
Atıl potansiyel	Giresun	Arz (konaklama) açığını ve finansman erişimini kapatmak	Uzun vadeli, faiz sübvansiyonlu konaklama yatırım kredisi; KGF turizm kefalet kotasında artış; belgelendirme maliyetlerine hibe; yurt dışı tur operatörü eşleştirme desteği	STB yatırım teşvik sistemi (öncelikli yatırım statüsü); DOKA güdümlü proje; KGF protokolü; KTB tanıtım desteği
Doygunluk sinyali	Rize	Mevsimselliği azaltmak, taşıma kapasitesini yönetmek	Kış/yayla/gastronomi ürünleri hibesi; ziyaretçi yönetimi ve rezervasyon altyapısı; taşıma kapasitesi planlaması; yeşil dönüşüm finansmanı	KTB destinasyon yönetimi; DOKA turizm çeşitlendirme çağrısı; il kültür turizm müdürlüğü izleme
Gelişme	Gümüşhane, Artvin	Erişim ve kayıtlılık eşiğini aşmak	Erişim altyapısı yatırımları; basit belgeliden işletme belgesine geçiş desteği; vergi ve harç indirimleri; öncelikli proje çağrıları	STB 6. bölge benzeri ayrıcalıklı uygulama; DOKA + il özel idaresi eş finansmanı; KTB belgelendirme kolaylaştırma

KTB: Kültür ve Turizm Bakanlığı; STB: Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı; TGA: Türkiye Turizm Tanıtım ve Geliştirme Ajansı; KGF: Kredi Garanti Fonu; DOKA: Doğu Karadeniz Kalkınma Ajansı.

Araçların ölçeği hakkında fikir vermesi açısından örnek bir tasarım şöyle olabilir: Giresun ve Gümüşhane'ye yönelik, üç yıl süreli ve reel olarak bölgenin son beş yıllık teşvik toplamının yaklaşık onda biri (250-300 mn TL, 2023M8 fiyatlarıyla) büyüklüğünde bir "atıl potansiyel penceresi" açılabilir. Bu tutar, faiz sübvansiyonu ve kısmi hibe bileşeniyle kurgulanarak kalkınma ajansı ve kredi garanti mekanizmasıyla eşleştirilebilir. Bu rakam mevcut dağılımı bozmadan iki ilin payını anlamlı biçimde artırabilecek gösterge niteliğinde bir ölçektir; kesin tutarlar için fizibilite çalışması gereklidir. Önerilen mimarinin izlenmesi için TÇPE'nin yıllık olarak güncellenmesi ve teşvik tahsislerinde endeks-performans makasının açık bir kriter olarak kullanılması önerilir.

7. SONUÇ VE POLİTİKA ÖNERİLERİ

Bu çalışma, Doğu Karadeniz'in altı ili için tamamı kamu verilerine dayalı bir Turizm Çekim Potansiyeli Endeksi geliştirmiştir. Endeks, potansiyel ile gerçekleşen performans arasındaki makası ölçmüş ve bu makasın finansman dağılımıyla ilişkisini ortaya koymuştur. Ana mesaj nettir: mevcut teşvik yapısı, potansiyeli yüksek ancak performansı düşük iller yerine, hâlihazırda güçlü olan destinasyonları daha da desteklemektedir. Politika yapıcıların bu makası kapatabilmeleri için il tipolojisine göre farklılaştırılmış araçlara ihtiyaç vardır: atıl potansiyelli illerde erişilebilir yatırım finansmanı; doygunlaşan destinasyonlarda mevsimsellik ve kapasite yönetimi; gelişme kümesindeki illerde ise kademeli altyapı ve belgelendirme desteği sağlanmalıdır.

Önerilen mimarinin etkinliği, bir izleme-değerlendirme-güncelleme döngüsüyle güvence altına alınmalıdır. DOKA'nın TÇPE'yi yıllık olarak güncellemesi, illerin matristeki konumunu takip etmesi ve teşvik tahsislerinde potansiyel-performans makasını kapatmaya yönelik hedefli kriterler kullanması önerilmektedir. Somut bir başarı göstergesi de tanımlanabilir: örneğin Giresun'un "atıl potansiyel" kümesinden çıkması için, normalize potansiyel ve performans skorları arasındaki farkın belirlenecek bir eşiğin altına inmesi şartı aranabilir ve bu koşul, pencere desteklerinin devamı için bir performans kriteri olarak kullanılabilir.

Çalışmanın sınırlılıkları açıkça belirtilmelidir: (i) Örneklem altı ilden oluşmaktadır, korelasyon testleri düşük istatistiksel güce sahiptir; (ii) Konaklama göstergeleri yalnızca turizm işletme belgeli tesisleri kapsamakta, belediye belgeli tesisleri dışarıda bırakmaktadır; (iii) Teşvik verileri Ağustos 2023 sonrasında il-sektör kırılımıyla yayımlanmadığından finansman kullanımı boyutu 2019-2023/8 dönemiyle sınırlıdır; ayrıca bu boyut gerçekleşen teşvik miktarını ölçtüğü için finansmana erişim kapasitesini değil sonucunu yansıtmaktadır — talep yönlü kredi kısıtları doğrudan ölçülememektedir; (iv) Medyan temelli tipoloji, sınıra yakın illerde hassas olabilir; (v) Mevsimselliğin ters kodlanması bir değer yargısı içermektedir; (vi) Trabzon'un aykırı ölçeği, küçük örneklemdeki istatistikleri etkilemektedir.

Bu sınırlılıklar gelecek çalışmalar için bir yol haritası sunmaktadır. Birincisi, belediye belgeli tesis verilerinin TÜİK veya il özel idareleri kanalıyla derlenmesi ve endeksin yeniden kalibre edilmesi, özellikle Gümüşhane ve Artvin skorlarının sınanması açısından önceliklidir. İkincisi, önerilen teşvik mekanizmalarının etmen-tabanlı modelleme (agent-based modeling) ile bir "sanal politika laboratuvarında" test edilmesi — örneğin atıl potansiyel penceresinin Giresun'un geceleme ve mevsimsellik göstergelerine olası etkilerinin simüle edilmesi — araç tasarımını ex-ante test etme imkânı sunacaktır. Üçüncüsü, Rize'deki doygunluk sinyalinin, taşıma kapasitesi tahminine dayalı bir ek çalışmayla daha ayrıntılı incelenmesi gerekmektedir. Nihayet endeksin 81 ile genişletilmesi ve teşvik-performans ilişkisinin panel veri yöntemleriyle nedensel bir çerçevede incelenmesi, burada gözlemlenen yoğunlaşma eğiliminin ne ölçüde genelleştirilebileceğini ortaya koyacaktır.

KAYNAKÇA

Altay, O. (2025). Sustainable redistribution of tourism burden through financial incentives: A strategic analysis from Istanbul to the Eastern Black Sea. Rize International Trade and Economy Congress, 15-16. https://doi.org/10.5281/zenodo.17723673

Altay, O. (2026). Balkanlar'da turizm potansiyelinin aktivasyonu: Türkiye ile Balkan ülkeleri arasında çift yönlü turizm akışları analizi, Yunanistan modeli ve politika önerileri. Uluslararası Balkanlar İşbirliği Kongresi Bildiri Özet Kitabı, 178-181.

Baum, T., & Lundtorp, S. (Eds.). (2001). Seasonality in tourism. Pergamon.

Butler, R. W. (1980). The concept of a tourist area cycle of evolution: Implications for management of resources. The Canadian Geographer, 24(1), 5-12.

Capocchi, A., Vallone, C., Pierotti, M., & Amaduzzi, A. (2019). Overtourism: A literature review to assess implications and future perspectives. Sustainability, 11(12), 3303. https://doi.org/10.3390/su11123303

Cracolici, M. F., & Nijkamp, P. (2009). The attractiveness and competitiveness of tourist destinations: A study of Southern Italian regions. Tourism Management, 30(3), 336-344. https://doi.org/10.1016/j.tourman.2008.07.006

Crompton, J. L. (1979). Motivations for pleasure vacation. Annals of Tourism Research, 6(4), 408-424.

Crouch, G. I., & Ritchie, J. R. B. (1999). Tourism, competitiveness, and societal prosperity. Journal of Business Research, 44(3), 137-152. https://doi.org/10.1016/S0148-2963(97)00196-3

Cuccia, T., & Rizzo, I. (2011). Tourism seasonality in cultural destinations: Empirical evidence from Sicily. Tourism Management, 32(3), 589-595. https://doi.org/10.1016/j.tourman.2010.05.008
Dann, G. M. S. (1977). Anomie, ego-enhancement and tourism. Annals of Tourism Research, 4(4), 184-194.
Dwyer, L., & Kim, C. (2003). Destination competitiveness: Determinants and indicators. Current Issues in Tourism, 6(5), 369-414. https://doi.org/10.1080/13683500308667962
Kaya, F., & Yıldırım, G. (2020). Ekoturizm potansiyeli açısından Doğu Karadeniz Bölgesi'nin değerlendirilmesi. Tourism and Recreation, 2(2), 125-133.
Kervankıran, İ., & Sert Eteman, F. (2020). Turizm ve bölgesel gelişme: Türkiye'de illerin turizm gelişmişlik düzeylerinin belirlenmesi. Ege Coğrafya Dergisi, 29(2), 125-140.
Koenig-Lewis, N., & Bischoff, E. E. (2005). Seasonality research: The state of the art. International Journal of Tourism Research, 7(4-5), 201-219. https://doi.org/10.1002/jtr.531
Mutlu, E. E., & Başer, G. (2020). Turizm yatırım teşvikleri çerçevesinde Antalya. Anatolia: Turizm Araştırmaları Dergisi, 31(3), 264-275. https://doi.org/10.17123/atad.668678
OECD. (2024). OECD tourism trends and policies 2024. OECD Publishing.
OECD & European Commission Joint Research Centre [JRC]. (2008). Handbook on constructing composite indicators: Methodology and user guide. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/9789264043466-en
Ritchie, J. R. B., & Crouch, G. I. (2003). The competitive destination: A sustainable tourism perspective. CABI Publishing.
Saisana, M., Saltelli, A., & Tarantola, S. (2005). Uncertainty and sensitivity analysis techniques as tools for the quality assessment of composite indicators. Journal of the Royal Statistical Society: Series A (Statistics in Society), 168(2), 307-323. https://doi.org/10.1111/j.1467-985X.2005.00350.x
World Economic Forum. (2024). Travel & tourism development index 2024. World Economic Forum.
Yavan, N. (2012). Türkiye'de yatırım teşviklerinin bölgesel belirleyicileri: Mekânsal ve istatistiksel bir analiz. Coğrafi Bilimler Dergisi, 10(1), 9-38. https://doi.org/10.1501/Cogbil_0000000129
[Veri kaynakları] DHMİ (2026) havalimanı istatistikleri; KTB-YİGM (2026) konaklama ve tesis istatistikleri; DKMP (2026) korunan alan istatistikleri; KVMGM (2026) taşınmaz kültür varlığı istatistikleri; KGM (2026) iller arası mesafe cetveli; Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2019-2023) yatırım teşvik belge listeleri; DOKA (2019-2020) faaliyet raporları; TÜİK tüketici fiyat endeksi (2003=100).

SCHİFF BAZI VE KLOROFENİL GRUBU İÇEREN KOBALT VE ÇİNKO FTALOSİYANİNLERİN BİYOLOJİK ETKİLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Ufuk YER
Atatürk University, Institute of Health Sciences, Division of Nutrition and Dietetics, 25000, Erzurum
ORCID: 0000-0002-1928-1143
Dr. Mesut NAMLI
Artvin Coruh University, Medicinal-Aromatic Plants Application and Research Centre, 08000, Artvin
ORCID: 0000-0001-9929-021X
Dr. Ahmet İsmail ÖZKAN
Artvin Coruh University, Medicinal-Aromatic Plants Application and Research Centre, 08000, Artvin
ORCID: 0000-0002-4511-2386
Öğr. Gör. Deniz CANBOLAT GÜLTEKİN
Artvin Coruh University, Medicinal-Aromatic Plants Application and Research Centre, 08000, Artvin
ORCID: 0000-0003-1328-4762
Doç. Dr. Uğur IŞIK
Dicle University, Faculty of Science, Department of Chemistry, 21000, Diyarbakır
ORCID: 0000-0003-1010-9563
Doç. Dr. Seda FANDAKLI
Artvin Coruh University, Health Services Vocational School, 08000, Artvin
ORCID: 0000-0002-8199-3336

ÖZET

Ftalosiyaninler, geniş konjuge π-elektron sistemlerine sahip, yüksek kimyasal ve termal kararlılık gösteren makrosiklik bileşiklerdir. Merkezi boşluklarına farklı metal iyonlarının koordine edilebilmesi ve periferal konumlarına çeşitli fonksiyonel grupların bağlanabilmesi, bu bileşiklerin fizikokimyasal ve biyolojik özelliklerinin amaca yönelik olarak düzenlenmesine olanak sağlamaktadır. Bu özellikleri nedeniyle ftalosiyaninler fotodinamik terapi, kataliz, sensör sistemleri ve biyomedikal uygulamalar başta olmak üzere birçok alanda araştırılmaktadır. Özellikle metal merkezinin ve periferal sübstitüentlerin değiştirilmesi, ftalosiyaninlerin redoks özellikleri, çözünürlükleri ve biyolojik sistemlerle etkileşimleri üzerinde önemli rol oynayabilmektedir. Schiff bazları, yapılarında bulunan azometin (-C=N-) grubu sayesinde koordinasyon kimyası ve biyolojik aktivite çalışmaları açısından önemli bir bileşik sınıfını oluşturmaktadır. Bu yapıların antioksidan ve antimikrobiyal özellikler başta olmak üzere farklı biyolojik aktivitelere sahip olabildiği bildirilmektedir. Bunun yanında aromatik halkalarda bulunan halojen sübstitüentleri, bileşiklerin elektronik özelliklerini, lipofilisitesini ve biyolojik hedeflerle olan etkileşimlerini değiştirebilmektedir. Bu nedenle Schiff bazı ve klor içeren grupların metal ftalosiyanin yapısına dâhil edilmesi, farklı biyolojik aktivitelere sahip yeni bileşiklerin geliştirilmesi açısından dikkat çekici bir yaklaşım oluşturmaktadır. Ayrıca çinko ve kobalt gibi farklı elektronik özelliklere sahip metal merkezlerinin kullanılması, elde edilen ftalosiyaninlerin biyolojik davranışlarının karşılaştırılmasına da olanak sağlamaktadır. Bu çalışmada, Schiff bazı ve serbest klor grubu içeren Zn(II) ve Co(II) ftalosiyanin bileşikleri sentezlenerek yapısal karakterizasyonları uygun spektroskopik yöntemlerle gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bileşiklerin antioksidan kapasiteleri

incelenmiş ve antimikrobiyal aktiviteleri *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* ve *Candida albicans*'a karşı araştırılmıştır.
Anahtar Kelimeler: Ftalosiyanin, Schiff Bazı, Antioksidan Aktivite, Antimikrobiyal Aktivite

BIOLOGICAL EVALUATION OF COBALT AND ZINC PHTHALOCYANINES CONTAINING SCHIFF BASE AND CHLOROPHENYL GROUPS

ABSTRACT

Phthalocyanines are macrocyclic compounds characterized by an extended conjugated π-electron system and high chemical and thermal stability. The ability to coordinate various metal ions within their central cavity and to introduce different functional groups at their peripheral positions enables the physicochemical and biological properties of these compounds to be tailored for specific purposes. Owing to these features, phthalocyanines have been extensively investigated in a wide range of fields, particularly photodynamic therapy, catalysis, sensor systems, and biomedical applications. In particular, modification of the central metal ion and peripheral substituents can play an important role in determining the redox properties, solubility, and interactions of phthalocyanines with biological systems. Schiff bases constitute an important class of compounds in coordination chemistry and biological activity studies due to the presence of the azomethine (-C=N-) group in their structures. These compounds have been reported to exhibit various biological activities, particularly antioxidant and antimicrobial properties. In addition, halogen substituents on aromatic rings can influence the electronic properties, lipophilicity, and interactions of compounds with biological targets. Therefore, the incorporation of Schiff base moieties and chlorine-containing groups into metal phthalocyanine structures represents a promising strategy for the development of new compounds with diverse biological activities. Furthermore, the use of metal centers with different electronic properties, such as zinc and cobalt, allows the biological behavior of the resulting phthalocyanines to be comparatively evaluated. In this study, Zn(II) and Co(II) phthalocyanine compounds containing Schiff base and free chlorine groups were synthesized, and their structural characterization was carried out using appropriate spectroscopic techniques. The antioxidant capacities of the synthesized compounds were evaluated, and their antimicrobial activities were investigated against *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus*, and *Candida albicans*.
Keywords: Phthalocyanine, Schiff Base, Antioxidant Activity, Antimicrobial Activity

1. INTRODUCTION

Phthalocyanines have emerged as an important class of macrocyclic compounds that have attracted considerable attention in various fields, including biomedicine, environmental science, and materials science, owing to their high structural stability, extended π-conjugated systems, and ability to coordinate with a wide range of metal ions. In particular, metallophthalocyanines have demonstrated considerable potential in antimicrobial applications, biosensing, and pharmaceutical research. The increasing emergence of resistance to conventional antimicrobial agents has necessitated the development of novel and effective alternatives. In this context, phthalocyanines can exhibit inhibitory activity against certain microbial species even under dark conditions, depending primarily on the nature of the central metal ion and peripheral substituents, thereby highlighting their potential as direct antimicrobial agents independent of photoactivation. Furthermore, the structural versatility and facile functionalization of phthalocyanines provide significant advantages for improving their biocompatibility and enhancing their targeting capabilities (Galstyan, 2021). The present study aims to synthesize cobalt and zinc containing phthalocyanine derivatives bearing chloride and Schiff base functionalities, determine their antioxidant capacities, and evaluate their

antimicrobial activities against *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus aureus* and *Candida albicans*.

1.1. Phthalocyanines

The basic structure of a phthalocyanine compound consists of four isoindole units cyclically linked through azamethine bridges.

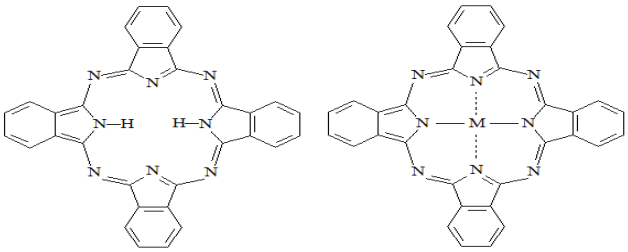


Figure 1. Structures of metal-free and metallophthalocyanines

Phthalocyanines generally exhibit intense colors ranging from blue to brown and show strong absorption in the red region of the spectrum. These properties make them attractive for applications in dyes, sensors, and biological systems (De Diesbach & Von der Weid, 1927; Moser & Thomas, 1983). Moreover, the ability of approximately 70 different metal atoms to occupy the central cavity, together with the ease of modifying peripheral substituents, enables these compounds to be used in a wide variety of applications (Tanaka, 2009).

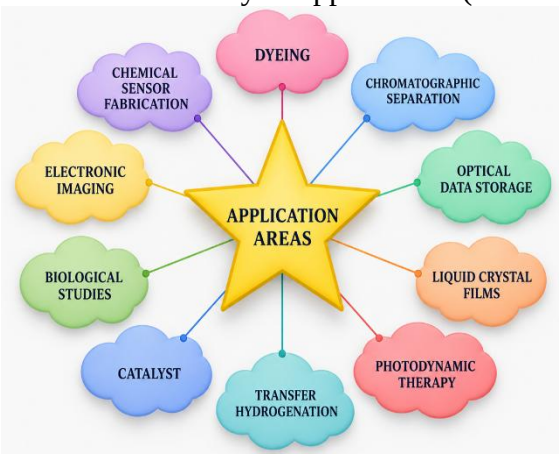


Figure 2. Application areas of phthalocyanines

1.2. Antimicrobial agents and antimicrobial activity

Antimicrobial research gained considerable momentum following the discovery of penicillin, which paved the way for the identification and development of many antimicrobial compounds of microbial origin. A large proportion of antibiotics currently used in clinical practice have been isolated from microorganisms, particularly soil-associated bacteria and fungi. Antimicrobial agents may be described as natural or synthetic substances capable of suppressing microbial growth or causing the destruction of microorganisms. Based on their biological effects, these compounds are generally divided into two major groups. Agents that directly kill microorganisms are referred to as cidal agents and may be further classified as bactericidal, fungicidal, or virucidal depending on the target organism. In contrast, compounds that restrict microbial multiplication without directly causing cell death are considered static agents and are accordingly termed bacteriostatic, fungistatic, or virustatic. The search for biologically active antimicrobial compounds from natural sources has continued for many decades, and plant-derived substances have also attracted substantial attention because of their potential effectiveness in the prevention and treatment of microbial infections (Iwu, Duncan, &

Okunji, 1999; Madigan, Martinko, & BROCK, 2010; Shinji, 1993).

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Materials

All chemicals employed in the synthetic procedures and biological activity assays were obtained commercially from Fluka, Merck, and Sigma-Aldrich and used as received without further purification. The starting compound, 4-(4-aminophenoxy)phthalonitrile (1), was prepared according to a previously reported procedure (Zuo and Liu, 2010). All synthetic, characterization, and biological activity studies were carried out in the laboratories of the Medical and Aromatic Plants Application and Research Center at Artvin Çoruh University.

Melting Point Determination: Barnstead/Electrothermal 9100

Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectroscopy: PerkinElmer Spectrum 100

UV–Visible Spectroscopy: Agilent Cary 3500

Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Spectroscopy: Bruker Avance III 400 MHz

Elemental Analysis: Thermo Scientific FlashSmart

2.2. Methods

Synthesis of phthalonitrile compound (2)

4-(4-Aminophenoxy)phthalonitrile (5 mmol) and 4-chlorobenzaldehyde (5 mmol) were dissolved in 40 mL of ethanol in a 100 mL round-bottom flask. After the addition of 2-3 drops of acetic acid, the reaction mixture was stirred at 50 °C under reflux for 12 h. Upon completion of the reaction, the resulting light-brown precipitate was collected by filtration and subsequently purified by recrystallization from ethanol (figüre 3).

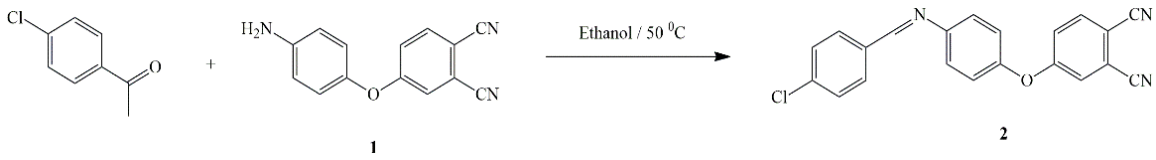


Figure 3. Synthesis of compound 2

Synthesis of phthalocyanines (2a and 2b)

Co(II) and Zn(II) containing phthalocyanine compounds were synthesized using a general procedure (Figure 4). Phthalonitrile compound (2) (4 mmol) and the corresponding metal salt [$CoCl_2$ or $Zn(OAc)_2$] (1 mmol) were dissolved in 40 mL of DMF in a 100 mL flask. Then, 3–5 drops of DBU [1,8-diazabicyclo[5.4.0]undec-7-ene] were added, and the mixture was stirred at 200 °C for 24 h. After the reaction was completed, the green mixture was poured into ice-cold water and neutralized with 37% HCl. The resulting phthalocyanine compounds were washed with ethanol, ethyl acetate, and chloroform. The synthesized compounds were characterized by UV-Vis spectroscopy and elemental analysis.

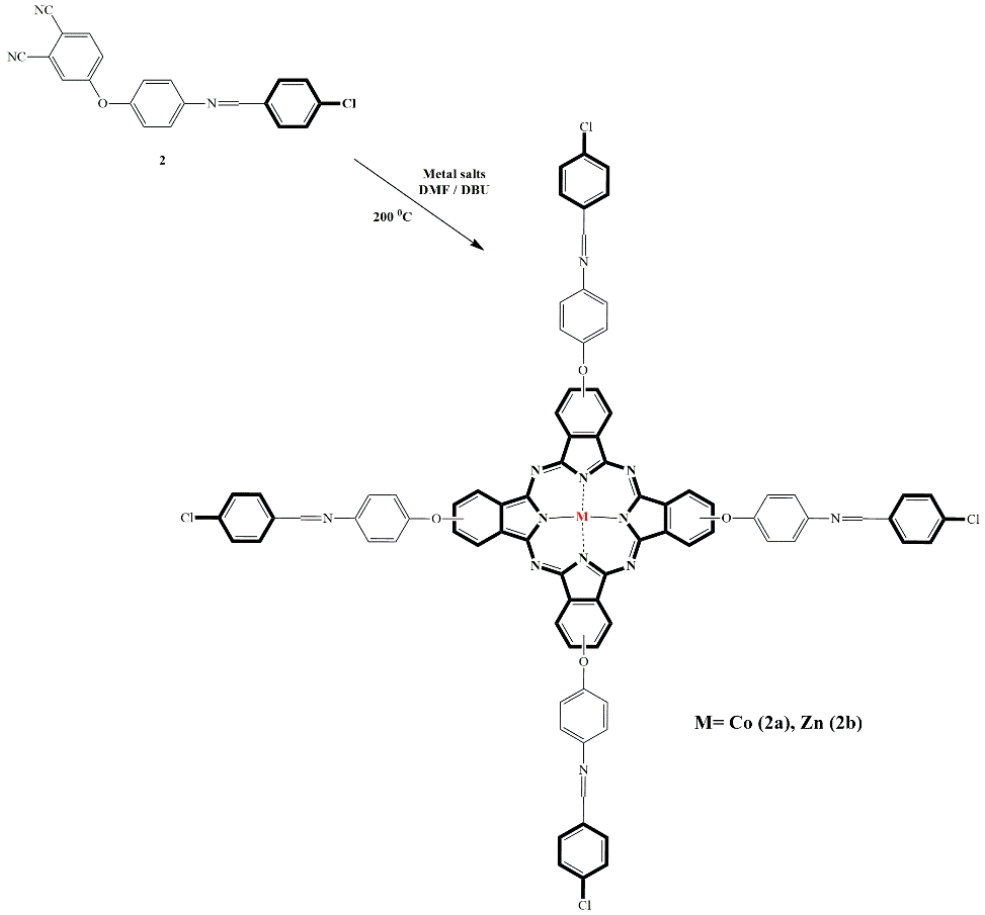


Figure 4. Synthesis of phthalocyanine compounds (2a and 2b)

Determination of antioxidant capacity

The antioxidant capacity of the synthesized compounds was determined using the Cupric Ion Reducing Antioxidant Capacity (CUPRAC) method (Apak et al., 2004). Radical scavenging activities were evaluated by the DPPH• (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) assay (Brand-Williams et al., 1995) and the ABTS•+ [2,2′-azinobis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)] radical cation scavenging assay (Re et al., 1999). All analyses were performed in triplicate.

Antimicrobial activity studies (antibacterial and antifungal activity)

The antimicrobial activities of the synthesized compounds were evaluated by the disk diffusion method according to Bhalodia and Shukla (2011), with minor modifications. *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853), *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923), and *Candida albicans* (ATCC 10231) were used as test microorganisms. Bacterial cultures were incubated at 37 °C for 24 h, while *C. albicans* was incubated at 30 °C for 48 h. After incubation, the diameters of the inhibition zones around the disks were measured to determine the susceptibility of the microorganisms to the tested compounds. All experiments were performed at least in triplicate, and the results were compared with those obtained using imipenem disks as the reference antibiotic.

3. RESULTS AND DISCUSSION

In this study, three new compounds that have not previously been reported in the literature were successfully synthesized, including one phthalonitrile derivative (2) and two phthalocyanine compounds (2a and 2b). The synthesized compounds were characterized using FT-IR, UV-Vis, ^{1}H-NMR, ^{13}C-NMR, and elemental analysis. The structure of the starting phthalonitrile compound (2) was confirmed by FT-IR, ^{1}H-NMR and ^{13}C-NMR analyses. In the FT-IR

spectrum, characteristic bands corresponding to the nitrile (C≡N) and azomethine (C=N) groups were observed at 2222 cm^{-1} and around 1625 cm^{-1}, respectively. The ^{1}H-NMR spectrum showed a singlet at 8.70 ppm assigned to the azomethine proton, while signals for the aromatic protons appeared in the range of 7.26-8.13 ppm. In the ^{13}C-NMR spectrum, the azomethine (CH=N) carbon signal was observed at 160.61 ppm, and the remaining aromatic carbon signals appeared in the expected regions. These spectroscopic findings confirm the formation of the Schiff base structure. The characterization data for phthalonitrile compound (2) are presented below.

Melting point	: 165-166 ºC	Color (yield)	: Light brown (% 85)
FT-IR ($\nu_{max/cm-1}$)	: 3105 (Ar-H), 2222 (CN), 1625 (C=N), 1589, 1568 (C=C), 1361, 1247 (Ar-O-Ar) , 839 (C-Cl)		
^{1}H-NMR (ppm), (DMSO-d_6)	: 8.70 (1H, s, CH), 8.13-8.11 (1H, d, ArH), 7.98-7.96 (2H, d, ArH), 7.82 (1H, d, ArH), 7.62-7.60 (2H, d, ArH), 7.44-7.41 (3H, d, ArH), 7.27-7.26 (2H, d, ArH)		
^{13}C-NMR (ppm), (DMSO-d_6)	: 160.61 (C=N), 159.25, 151.39, 147.97, 135.73, 135.56, 134.17, 129.72, 128.41, 122.64, 121.99, 121.31, 120.64, 116.10 (CN), 115.32 (CN), 114.81, 107.53		

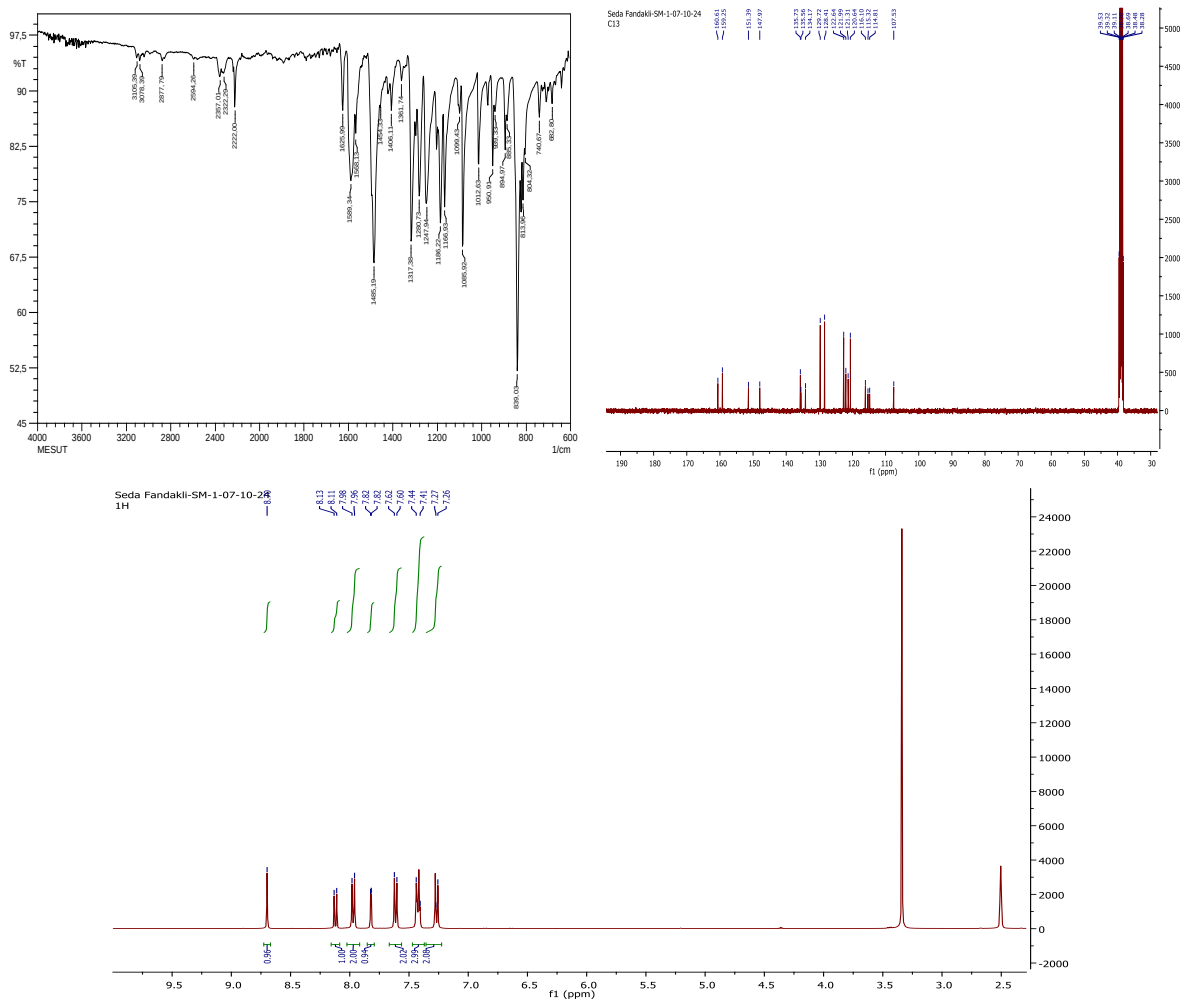


Figure 5. FT-IR, ^{13}C-NMR, and ^{1}H-NMR spectra of compound 2

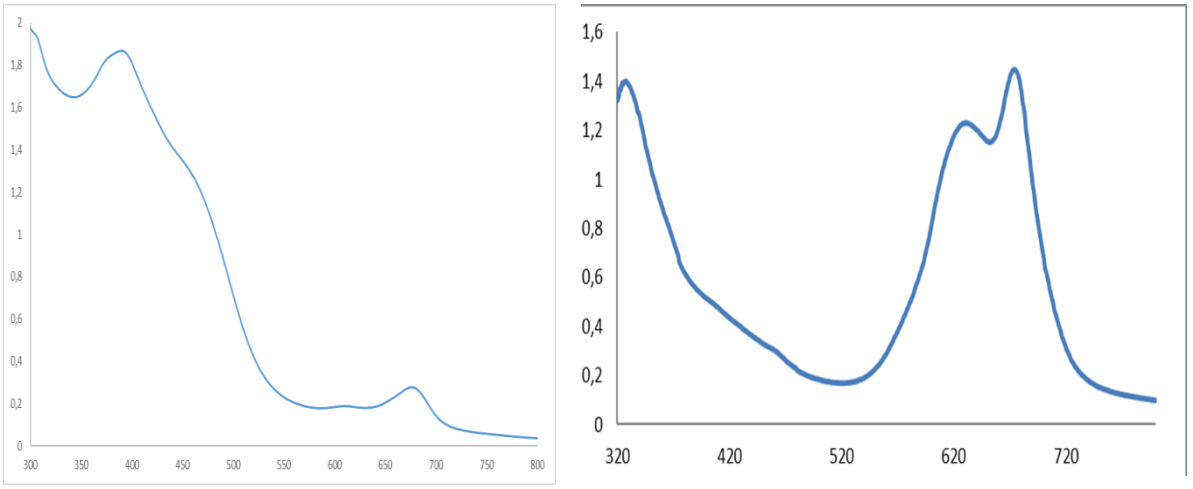
In the UV-Vis spectra of the synthesized phthalocyanine compounds recorded in DMSO, the B (Soret) bands were observed in the 330-395 nm range, while the characteristic Q bands appeared at 683-691 nm for compounds 2a and 2b. The presence of these bands confirms the formation of the phthalocyanine macrocycle. In addition, the elemental analysis results were in good agreement with the calculated theoretical values.

The characterization data for the cobalt phthalocyanine compound are presented below.

Melting point	: >200 ºC	Color	: Dark green
Solubility	: DMF, DMSO	Yield	: 70 mg (%65)
Elemental Analysis	: Calculated: C, 68.18; H, 3.90; N, 10.84 : Found: C, 69.05; H, 4.37; N, 11.89		
UV/Vis λmax/nm (DMSO, 10^{-5} M)	: 395, 617, 683		

The characterization data for the zinc phthalocyanine compound are presented below.

Melting point	: >200 ºC	Color	: Light Yeşil
Solubility	: DMF, DMSO	Yield	: 80 mg (%75)
Elemental Analysis	: Calculated: 67.90; H, 3.88; N, 10.80 : Found: C, 68.73; H, 4.57; N, 11.09		
UV/Vis λmax/nm (DMSO, 10^{-5} M)	: 330, 623, 691		



Co **Zn**

Figure 6. UV-Vis Spectra of the synthesized phthalocyanine compounds

Following the synthesis procedures, the biological activities of the compounds were first evaluated by antioxidant capacity assays. The antioxidant properties of the synthesized phthalocyanine derivatives were investigated using DPPH, ABTS, and CUPRAC methods. Under the applied experimental conditions, no measurable DPPH or ABTS radical scavenging activity or CUPRAC reducing capacity was detected. Therefore, the compounds did not show significant antioxidant activity within the tested concentration range. This result may be related to the strong aggregation tendency and limited solubility of phthalocyanines arising from their extended π-conjugated macrocyclic structures. Aggregation can decrease the amount of active monomeric species in solution and restrict their interaction with radical or redox reagents, leading to a lower measurable antioxidant response. Previous studies have also reported that aggregation of phthalocyanines may negatively affect their solubility and biological activity. Similarly, Amaral et al. (2012) reported that metal-free phthalocyanine and Cu(II), Zn(II),

Fe(II), and Mn(II) phthalocyanine derivatives did not exhibit notable antioxidant activity in the DPPH radical scavenging assay.

In the final part of the study, antimicrobial activity tests showed that the tested compounds did not exhibit any detectable activity against *P. aeruginosa, S. aureus* and *C. albicans* at concentrations of 12.5, 25, and 50 mg/mL (Table 1).

Table 1. Antimicrobial activity of the synthesized compounds.

Solvent	**Compound**	**Concentration (mg/mL)**	***P.aeruginosa***	***S.aureus***	***C.albicans***
DMSO	Co (2a)	12.50	6.0	6.0	6.0
		25.00	6.0	6.0	6.0
		50.00	6.0	6.0	6.0
	2	12.50	6.0	6.0	6.0
		25.00	6.0	6.0	6.0
		50.00	6.0	6.0	6.0
	Zn (2b)	12.50	6.0	6.0	6.0
		25.00	6.0	6.0	6.0
		50.00	6.0	6.0	6.0
Control	DMSO		6.0	6.0	6.0
	Tetracycline		8.7	24.0	6.0

4. CONCLUSION

This study showed that the applied synthetic method was successful for the preparation of the target compounds. However, the synthesized phthalocyanine derivatives did not show significant antioxidant or antimicrobial activity under the tested experimental conditions. The low antioxidant activity may be related to the aggregation tendency of phthalocyanines in solution and the resulting decrease in their solubility. Therefore, future studies may focus on structural modifications that improve solubility and reduce aggregation. In addition, the synthesis of phthalocyanine derivatives containing different metal ions may help to better understand the relationship between molecular structure and biological activity. Regarding antimicrobial activity, only selected bacterial and fungal strains were evaluated in the present study. Therefore, the absence of activity against the tested microorganisms does not necessarily indicate that these compounds are inactive against all microorganisms. Further studies using a broader range of bacterial and fungal species may provide a more comprehensive evaluation of their antimicrobial potential. In conclusion, although the new compounds were successfully synthesized and structurally characterized, further biological studies using different microorganisms and higher concentrations are recommended.

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was financially supported by the Scientific Research Projects Coordinatorship of Artvin Çoruh University (Project No: 2024.F86.02.03). The authors gratefully acknowledge this support.

REFERENCES

Galstyan, A. (2021). Turning photons into drugs: Phthalocyanine-based photosensitizers as efficient photoantimicrobials. Chemistry – A European Journal, 27(6), 1903–1920.

Zuo, F., & Liu, X. (2010). Synthesis and curing behavior of a novel benzoxazine-based bisphthalonitrile monomer. Journal of applied polymer science, 117(3), 1469-1475.

Apak, R., Güçlü, K., Özyürek, M., & Karademir, S. E. (2004). Novel total antioxidant capacity index for dietary polyphenols and vitamins C and E, using their cupric ion reducing capability in the presence of neocuproine: CUPRAC method. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 52(26), 7970–7981.

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. LWT - Food Science and Technology, 28(1), 25–30.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. Free Radical Biology and Medicine, 26(9–10), 1231–1237.

Bhalodia, N. R., & Shukla, V. J. (2011). Antibacterial and antifungal activities from leaf extracts of Cassia fistula L.: An ethnomedicinal plant. Journal of Advanced Pharmaceutical Technology & Research, 2(2), 104–109.

Amaral, G. P., Puntel, G. O., Dalla Corte, C. L., Dobrachinski, F., Barcelos, R. P., Bastos, L. L., Ávila, D. S., Rocha, J. B. T., da Silva, E. O., Puntel, R. L., & Soares, F. A. A. (2012). The antioxidant properties of different phthalocyanines. Toxicology in Vitro, 26(1), 125–132.

De Diesbach, H., & Von der Weid, E. (1927). Quelques sels complexes des o-dinitriles avec le cuivre et la pyridine. Helvetica Chimica Acta, 10(1), 886-888.

Iwu, M. W., Duncan, A. R., & Okunji, C. O. (1999). New antimicrobials of plant origin. Perspectives on new crops and new uses. ASHS Press, Alexandria, VA, 457, 462.

Madigan, M., Martinko, J., & BROCK, M. (2010). Mikroorganizmaların biyolojisi (Çeviri editörü: Cumhur Çökmüş). Palme yayınları, 532, 647-655.

Moser, F. H., & Thomas, A. L. (1983). The Phthalocyanines. Vol. 2 Manufacture and Applications.

Shinji, M. (1993). Research on Antibiotic Screening in Japan over the Last Decade: A Producing Microorganism Approach. 日本放線菌学会誌, 7(2), 100-106.

Tanaka, M. (2009). Phthalocyanines–high performance pigments and their applications. High performance pigments, 275-291.

ARKEOLOJİK ALANLARDA DİJİTAL BELGELEME: İTALYA ÖRNEKLERİ ÜZERİNDEN İNCELEME VE ÖNERİLER

Şule DOĞRAMACI
Gebze Technical University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, 41400 Gebze, Kocaeli
ORCID ID: 0009-0004-5352-2600
Dr. Öğretim Üyesi Mine TOPÇUBAŞI
Gebze Technical University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, 41400 Gebze, Kocaeli
ORCID ID: 0000-0002-0901-8093

ÖZET
Kültürel miras niteliği taşıyan arkeolojik alanların belgelenmesi koruma disiplinlerinin temel sorun alanları arasında yer almaktadır. Her biri ayrı bir tarihsel bilgi barındıran arkeolojik alanlar, karmaşık ve katmanlı bir yapıya sahip olduklarından dolayı göz ardı edilmektedir. Bu çalışma; tarihi yapıların dijital tekniklerle belgelenmesi ve bilginin korunması üzerine ortaya çıkan HBIM yaklaşımı kullanılarak süreci yönetilen arkeolojik alan örnekleri incelemesi yapmaktadır. Örnekler, mimari miras yoğunluğu ve koruma süreçleriyle önde olan İtalya'dan seçilmiştir. Örnekler seçilirken çalışılan alanın büyüklüğü, farklı tekniklerin kullanılması, yöntemlere özgü teknik bilgi içermesi, dijital iş akışlarını ortaya koyan ve (varsa) çözüm odaklı yaklaşımlar olması tercih edilmiştir. Bu çalışmada, dönem teknolojilerine ve alan sınırlılıklarına göre belgeleme yaklaşımının nasıl biçimlendiğini ortaya koymak amaçlanmıştır. Ölçek tabanlı kategorilendirilen ve literatür taraması yoluyla elde edilen örnekler; arkeolojik bağlam ve fiziksel bütünlük, veri toplama teknikleri, veri işleme süreçleri ve HBIM ortamında var olma yöntemleri üzerinden karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Ölçeklendirme ise eleman/yapı/alan ölçeği olmak üzere üç kategori olacak şekilde belirlenmiştir.
Elde edilen bulgular; her alanı özgün birer miras olarak değerlendirip ölçeğe göre değil, alanın karakterine ve sınırlılıklarına göre yöntem tercih edilmesi gerektiği olmuştur. Çalışılan alanda tek bir standart yöntemin yeterli olmadığını, bölgenin şartlarına göre ve alan ölçeğine göre uygun olan belgeleme tekniğinin seçilmesi ve bilginin koruması açısından rehber niteliğinde olan bu çalışmalar; benzer arkeolojik alanlarda uygun dijital belgeleme ve HBIM iş akışlarının belirlenmesine ve yöntem seçimine rehberlik edebilecek bir çerçeve sunmuştur. Bu bulgular doğrultusunda, Türkiye'de benzer arkeolojik alanların belgelenmesinde tek tip bir yöntem yerine, alanın özelliklerine göre şekillenen ölçek temelli ve gerektiğinde hibrit belgeleme yaklaşımlarının benimsenmesi önerilmektedir. Çalışmanın, Türkiye'de gerçekleştirilecek benzer uygulamalarda uygun belgeleme yönteminin ve HBIM iş akışının belirlenmesine yönelik yöntemsel bir çerçeve sunması hedeflenmiştir.
Anahtar Kelimeler: Mimari miras koruma, HBIM, Dijital belgeleme, Arkeolojik alan, Tarihi Yapı Bilgi Modellemesi

DIGITAL DOCUMENTATION IN ARCHAEOLOGICAL SITES: AN EXAMINATION OF ITALIAN CASE STUDIES AND RECOMMENDATIONS

ABSTRACT
The documentation of archaeological sites that constitute cultural heritage remains one of the fundamental challenges within conservation disciplines. Archaeological sites, each containing distinct historical information, may be overlooked due to their complex and multilayered nature.

This study examines archaeological site cases in which the documentation process has been managed through the HBIM approach, which has emerged as a means of digitally documenting historic structures and preserving related information. The case studies were selected from Italy, a country distinguished by its concentration of architectural heritage and established conservation practices. In selecting the cases, preference was given to studies that varied in site scale, employed different techniques, provided method-specific technical information, clearly presented digital workflows, and, where applicable, proposed solution-oriented approaches. The study aims to reveal how documentation approaches are shaped by the technologies available at the time and by site-specific constraints.

The case studies, categorized according to scale and identified through a literature review, were comparatively examined in terms of archaeological context and physical integrity, data acquisition techniques, data processing workflows, and methods of integration into the HBIM environment. The scale-based classification was structured into three categories: element, building, and site scale.

The findings indicate that each archaeological site should be regarded as a unique heritage asset and that documentation methods should be selected not solely according to scale, but also in relation to the specific characteristics and constraints of the site. The examined studies demonstrate that a single standardized method is not sufficient and that appropriate documentation techniques should be selected according to site conditions and scale. In this respect, they provide a framework that can guide the selection of suitable digital documentation methods and HBIM workflows for similar archaeological contexts. Based on these findings, it is recommended that archaeological documentation practices in Türkiye adopt site-specific, scale-based, and, where necessary, hybrid documentation approaches rather than a single standardized method. The study is intended to provide a methodological framework for determining appropriate documentation methods and HBIM workflows in similar applications to be carried out in Türkiye.

Keywords: Architectural heritage conservation, HBIM, Digital documentation, Archaeological site, Heritage Building Information Modeling

1. GİRİŞ

1.1. Arkeolojik Alanların Dijital Belgelenmesi

Arkeolojik kalıntılar, kültürel mirasın önemli bir bileşenini oluşturmakta; ancak bu mirasın üretildiği kazı süreci, doğası gereği yönlendirilmiş bir yıkım niteliği taşımaktadır. Kazı, geçmişe ilişkin bilgi üretirken aynı anda bu bilginin dayandığı in-situ veriyi ortadan kaldırmakta, böylece verinin gelecekte yeniden incelenmesini ve yorumlanmasını güçleştirmektedir (De Reu vd., 2013). Bu nedenle arkeolojik alanların doğru, ayrıntılı ve yeniden erişilebilir biçimde belgelenmesi, koruma disiplinlerinin temel sorun alanlarından biri olarak öne çıkmaktadır.

Geleneksel belgeleme yöntemleri, kalıntıların üç boyutlu yapısını iki boyutlu çizim ve fotoğraflara indirgemekte; bu da hem bilgi kaybına hem de belgeleyenin yorumuyla biçimlenen öznel bir kayda yol açmaktadır (De Reu vd., 2013). Son yıllarda dijital fotogrametri, lazer tarama (TLS) ve insansız hava araçları (İHA) gibi tekniklerin yaygınlaşması, kültürel miras alanlarının yüksek çözünürlüklü üç boyutlu modeller aracılığıyla belgelenmesini olanaklı kılmıştır (Yılmaz vd., 2007; Moullou vd., 2024). Bununla birlikte bu dijital dönüşüm, veri fazlalığı (information overload), sahadaki doğrudan gözlemin kaybı ve büyük veri kümelerinin yönetimi gibi yeni sorunları da beraberinde getirmektedir (Moullou vd., 2024). Dolayısıyla arkeolojik bağlamın karmaşıklığını yakalayabilmek, yalnızca veri toplamayı değil, bu verinin anlamlı biçimde işlenmesini ve ilişkilendirilmesini de gerektirmektedir.

1.2. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Arkeolojik alanlar; fiziksel bütünlük düzeyi, geometrik karmaşıklık, erişilebilirlik, alan koşulları ve ölçek bakımından önemli farklılıklar göstermektedir. Bu çeşitlilik, her alana uygulanabilecek tek ve standart bir belgeleme yönteminin bulunmadığını; yöntem seçiminin belgelenecek kalıntının karakterine ve hedeflenen bilgi düzeyine göre yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Uygun belgeleme tekniğinin, nesnenin geometrik özellikleri ve çalışma alanının koşullarına bağlı olarak değiştiği literatürde de vurgulanmaktadır (Yılmaz vd., 2007; Aicardi vd., 2018; Moullou vd., 2024).

Öte yandan, salt geometrik belgeleme çoğu durumda tek başına yeterli olmamaktadır. Kalıntının korunması ve yönetilebilmesi için üç boyutlu geometrinin tarihsel, yapısal ve semantik bilgilerle ilişkilendirilmesi gerekmektedir. Bu gereksinim, Historic Building Information Modeling (HBIM) yaklaşımını arkeolojik mirasın dijital belgelenmesi açısından önemli bir araç hâline getirmektedir (Murphy, 2012; Barontini vd., 2022). HBIM, geometrik ve geometrik olmayan verilerin bütünleşik bir model içerisinde ilişkilendirilmesine olanak sağlayarak belgeleme, koruma ve bilgi yönetimi süreçlerini desteklemektedir.

Bu çalışma, arkeolojik alanların dijital belgelenmesi ve HBIM ortamında değerlendirilmesi sürecini İtalya'dan seçilen örnek çalışmalar üzerinden incelemeyi amaçlamaktadır. İncelenen örnekler; eleman/mimari eleman ölçeğinde Antas Tapınağı, yapı/yapı kompleksi ölçeğinde Costigliole Saluzzo Roma Villası ve alan/kazı alanı ölçeğinde Napoli Piazza Municipio–Metro Linea 6 kazısı olmak üzere üç farklı fiziksel ölçeği temsil edecek biçimde seçilmiştir. Her örnek; arkeolojik bağlam ve fiziksel bütünlük, veri toplama teknikleri, veri işleme süreçleri ve HBIM ortamında değerlendirilme biçimi açısından karşılaştırmalı olarak ele alınmaktadır. Ölçek, bu çalışmada kullanılacak yöntemi doğrudan belirleyen bir değişken olarak değil, farklı arkeolojik bağlamların ortak bir analitik çerçevede karşılaştırılmasını sağlayan bir sınıflandırma aracı olarak kullanılmaktadır. Bu doğrultuda çalışma, belgeleme yaklaşımlarının alanın fiziksel özellikleri, geometrik karmaşıklığı, erişilebilirliği, çalışma koşulları ve hedeflenen bilgi düzeyi doğrultusunda nasıl farklılaştığını ortaya koymayı amaçlamaktadır. Elde edilen bulgulardan hareketle, Türkiye'de benzer arkeolojik bağlamlarda uygun dijital belgeleme ve HBIM iş akışlarının belirlenmesine katkı sağlayabilecek yöntemsel çıkarımlar geliştirilmesi hedeflenmektedir.

Bu kapsamda çalışma üç temel soruya odaklanmaktadır: **(i)** Arkeolojik alanın fiziksel ve mekânsal özellikleri belgeleme yaklaşımını nasıl etkilemektedir? **(ii)** Bu koşullara bağlı olarak hangi dijital belgeleme ve veri işleme yöntemleri tercih edilmektedir? **(iii)** Üretilen veriler HBIM ortamında nasıl değerlendirilmekte ve benzer arkeolojik alanlar için hangi yöntemsel çıkarımlar üretilebilmektedir?

2. DİJİTAL BELGELEME VE HBIM YAKLAŞIMI

2.1. Arkeolojik Alanlarda Dijital Belgeleme Teknikleri

Kültürel ve arkeolojik mirasın dijital belgelenmesinde topografik ölçüm (total station, GNSS), görüntü tabanlı yöntemler (fotogrametri ve özellikle örtüşen görüntülerden üç boyutlu veri üreten Structure from Motion – SfM; geniş ya da erişimi güç alanlar için İHA fotogrametrisi) ve mesafe tabanlı yöntemler (yoğun nokta bulutu sağlayan yersel lazer tarama – TLS) kullanılmaktadır. Alanın fiziksel kapsamı, geometrik karmaşıklığı, erişilebilirliği ve hedeflenen doğruluk düzeyi, kullanılacak yöntemin ya da yöntem bileşiminin seçiminde belirleyicidir; bu teknikler çoğunlukla birbirlerinin sınırlılıklarını tamamlayacak biçimde bütünleşik olarak uygulanmaktadır (Yılmaz vd., 2007; Moullou vd., 2024). Bu yöntemlerle elde edilen geometrik verinin tarihsel, yapısal ve semantik bilgilerle ilişkilendirilerek yönetilebilir bir bilgi modeline dönüştürülmesi ise HBIM yaklaşımının temel işlevlerinden birini oluşturmaktadır.

2.2. Dijital Belgeleme ve HBIM Yaklaşımı

Building Information Modeling (BIM), yapıların geometrik ve geometrik olmayan verilerinin bütünleşik bir dijital model içinde toplandığı; tasarım, üretim ve yönetim süreçlerini destekleyen bir yaklaşım olarak önce yeni yapılar için geliştirilmiştir (Succar, 2009). Bu yaklaşımın tarihî yapılara uyarlanması, Murphy, McGovern ve Pavia (2009) tarafından Historic Building Information Modeling (HBIM) kavramının ortaya konmasıyla başlamıştır. İlk tanımıyla HBIM, tarihî mimari veriye dayanan parametrik nesnelerden oluşan bir kütüphanenin, lazer tarama ve fotogrametri ile elde edilen nokta bulutu üzerine eşlenmesine dayanan tersine mühendislik (reverse engineering) sürecidir (Murphy vd., 2009; Murphy, 2012).

Başlangıçta yöntem, ağırlıklı olarak yüksek geometrik doğrulukta üç boyutlu model üretmeye odaklanmıştır. Ancak zamanla HBIM, yalnızca geometrik belgeleme aracı olmaktan çıkarak; koruma, yapısal analiz, bakım ve bilgi yönetimi süreçlerini destekleyen çok boyutlu bir bilgi altyapısına dönüşmüştür (Barontini vd., 2022). Bu çalışma açısından HBIM, arkeolojik kalıntının geometrik verisinin; tarihsel, yapısal ve semantik bilgiyle ilişkilendirilerek tek bir model içinde yönetilmesini sağlayan bir yaklaşım olarak ele alınmaktadır.

HBIM sürecinde modelin geometrik ayrıntı, doğruluk ve bilgi içeriğinin tanımlanmasında Level of Detail / Level of Development (LOD), Level of Accuracy (LOA) ve bilgi gereksinimi (level of information need) gibi kavramlardan yararlanılmaktadır. Bu kavramlardan LOD geometrik ayrıntı düzeyiyle, LOA model doğruluğuyla, bilgi gereksinimi ise modele iliştirilen içeriğin kapsamıyla ilişkilidir. Tarihî ve arkeolojik mirasta bu kavramların tanımı ve uygulanışı henüz tümüyle yeknesak olmamakla birlikte; geometrik karmaşıklık ve belirsizliğin yüksek olduğu arkeolojik kalıntılarda, modelin gereğinden fazla ayrıntılandırılması yerine amaca uygun bir bilgi düzeyinin dengeli biçimde belirlenmesi önerilmektedir (Barontini vd., 2022). Bu çalışmada söz konusu kavramlar, örneklerin karşılaştırılmasında yalnızca yardımcı bir ölçüt olarak ele alınmakta; çalışmanın odağı bu standartların teknik tartışması değil, farklı arkeolojik bağlamlarda belgeleme ve modelleme yaklaşımlarının nasıl farklılaştığıdır.

2.3. Arkeolojik Miras ve Arkeolojik Alan Kavramı

Arkeolojik mirasın korunması ve yönetimine ilişkin temel uluslararası referanslardan biri, ICOMOS tarafından 1990 yılında kabul edilen *Arkeolojik Mirasın Korunması ve Yönetimi Tüzüğü* (Charter for the Protection and Management of the Archaeological Heritage) olmuştur. Tüzüğe göre arkeolojik miras, hakkında birincil bilgiyi arkeolojik yöntemlerin sağladığı maddi mirasın bir parçası olup; insan varlığının izlerini, insan etkinliğiyle ilişkili yerleri, terk edilmiş yapıları ve her tür kalıntıyı, bunlarla ilişkili taşınabilir kültürel malzemeyle birlikte kapsar (ICOMOS, 1990).

Bu çalışma kapsamında "arkeolojik alan" üst bir kavram olarak kullanılmakta; tekil mimari kalıntılardan yapı gruplarına ve geniş kazı alanlarına kadar farklı fiziksel kapsamlar bu üst kavram altında değerlendirilmektedir. Bu yaklaşım, çalışmanın ilerleyen bölümlerinde kurulacak eleman/mimari eleman, yapı/yapı kompleksi ve alan/kazı alanı ayrımının kavramsal zeminini oluşturmaktadır.

Türkiye'de arkeolojik alanların korunması, 2863 sayılı *Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu* çerçevesinde düzenlenmektedir. Kanun kapsamında arkeolojik değer taşıyan yerler "arkeolojik sit alanı" olarak tanımlanmakta; bu alanların koruma derecesine göre I., II. ve III. derece olarak sınıflandırılması ise ilgili ilke kararları çerçevesinde uygulanmaktadır (Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yüksek Kurulu, 1999). Bu düzenleme, esas olarak hukuki-idari bir koruma çerçevesi sunmakta; belgeleme yönteminin seçimine yönelik teknik bir ölçüt içermemektedir.

2.4. İtalya'da Arkeolojik Alan Kavramının Yasal Çerçevesi

Çalışmada incelenen üç örnek de İtalya'dan seçildiğinden, İtalyan mevzuatındaki arkeolojik alan kavramının netleştirilmesi önem taşımaktadır. İtalya'da kültürel mirasın korunması temel olarak 42/2004 sayılı *Kültürel Miras ve Peyzaj Yasası* (Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio) ile düzenlenmektedir. Yasanın 101. maddesi, kamusal kültür kurumları ve mekânları kapsamında "arkeolojik alan" (area archeologica) ve "arkeolojik park" (parco archeologico) kavramlarını ayrı kategoriler olarak tanımlamaktadır. Buna göre area archeologica, fosil kalıntıları veya prehistorik ve antik dönem yapı-eser kalıntılarının bulunduğu alanı; parco archeologico ise önemli arkeolojik kalıntıların tarihî, peyzaj ve çevresel değerlerle bir arada bulunduğu, açık hava müzesi niteliğinde düzenlenmiş bölgeyi ifade eder (D.Lgs. 42/2004, md. 101).

ICOMOS ve ulusal mevzuatlardaki tanımlar, arkeolojik mirasın korunması ve hukuki statüsünün belirlenmesine yönelik kavramsal bir çerçeve sunmakta; ancak farklı fiziksel kapsamlara sahip arkeolojik kalıntıların dijital belgeleme süreçlerinin karşılaştırılmasında bu çalışmada ihtiyaç duyulan türde bir ölçek sınıflandırması sunmamaktadır. Bu nedenle bu çalışmada eleman/mimari eleman, yapı/yapı kompleksi ve alan/kazı alanı ayrımı, hukuki bir sınıflandırma olarak değil, seçilen örneklerin ortak ölçütler üzerinden karşılaştırılmasını sağlayan analitik bir araç olarak kullanılmaktadır.

3. YÖNTEM

3.1. Literatür Tarama Süreci ve Örnek Seçim Kriterleri

Bu çalışmada nitel araştırma yaklaşımına dayalı karşılaştırmalı örnek olay (case study) yöntemi benimsenmiştir. İtalya'daki arkeolojik mirasa yönelik HBIM ve HBIM ilişkili dijital belgeleme çalışmalarının belirlenmesi amacıyla hedefli bir literatür taraması gerçekleştirilmiş; karşılaştırmalı incelemeye dâhil edilecek örnekler amaçlı örnekleme yaklaşımıyla belirlenmiştir. Taramada akademik arama platformları, açık erişimli yayın kaynakları ve lisansüstü tez arşivleri (ISPRS Archives, Google Scholar, ResearchGate ile POLITesi [Politecnico di Milano] ve WebThesis [Politecnico di Torino]) birlikte kullanılmıştır. Tarama sürecinde İngilizce ve İtalyanca anahtar kelimeler ("HBIM", "Heritage BIM", "archaeological heritage", "archaeological site", "patrimonio archeologico", "rilievo digitale", "digital documentation", "laser scanning", "photogrammetry") birlikte kullanılmıştır.

POLITesi ve WebThesis arşivlerinin taramada önceliklendirilmesinde, bu kurumların mimarlık ve yapılı çevre alanındaki akademik konumlarının yanı sıra, lisansüstü araştırmalara açık erişim sağlayarak belgeleme ve modelleme süreçlerine ilişkin ayrıntılı teknik veri sunmaları etkili olmuştur. Politecnico di Milano ve Politecnico di Torino, 2026 QS Architecture and Built Environment sıralamasında İtalya'nın ilk iki kurumu olarak yer almaktadır (QS Quacquarelli Symonds, 2026). Bununla birlikte tarama bu iki arşivle sınırlandırılmamış; ISPRS Archives, Google Scholar ve ResearchGate üzerinden erişilen çalışmalar da değerlendirmeye alınmıştır.

Taranan çalışmalar arasından örneklerin seçiminde şu ölçütler esas alınmıştır: doğrudan arkeolojik mirasla ilişkili olma, belgeleme ve modelleme iş akışını açıkça tanımlama, veri toplama ve işleme yöntemleri hakkında karşılaştırmaya yetecek düzeyde teknik bilgi sunma ve farklı fiziksel ölçekleri temsil etme. Bu ölçütler doğrultusunda, üç farklı ölçeği temsil eden üç örnek belirlenmiştir. Seçim, alanın ya da çalışmayı üreten kurumun bilinirliğine değil; her örneğin bu çalışmanın analitik çerçevesiyle kurduğu ilişkiye dayandırılmıştır.

3.2. Ölçek Tabanlı Analitik Sınıflandırma

Çalışmada, arkeolojik kalıntıların belgeleme ve modelleme odağına dayalı üç kademeli bir sınıflandırma kullanılmaktadır. Uluslararası ve ulusal koruma belgelerinde arkeolojik mirasa yönelik çeşitli sınıflandırmalar bulunmakla birlikte (örneğin anıt, bina grubu ve sit ayrımı ya da ulusal mevzuattaki koruma derecesi kademeleri), bu sınıflandırmalar ağırlıklı olarak hukuki-idari, koruma odaklı veya mirasın niteliğine ilişkin ölçütlere dayanmakta; bu çalışmada ihtiyaç duyulan, farklı fiziksel kapsamlardaki dijital belgeleme süreçlerini karşılaştırmaya yönelik analitik bir çerçeve sunmamaktadır. Bu nedenle, incelenen örneklerin ortak ölçütler üzerinden karşılaştırılabilmesi amacıyla, bu çalışma kapsamında belgeleme ve modelleme odağı esas alınarak üç kademeli bir analitik sınıflandırma geliştirilmiştir. Bu sınıflandırma hukuki bir kategori değil; çalışmanın karşılaştırmalı çözümlemesini düzenleyen, bu çalışma kapsamında geliştirilen analitik bir araçtır. Üç kademe şöyle tanımlanmaktadır:

Eleman / mimari eleman ölçeği: Tekil bir arkeolojik veya mimari bileşenin; örneğin sütun, sütun gövdesi, başlık, kaide, taş blok ya da benzeri bir yapı parçasının belgeleme ve modelleme odağını oluşturduğu çalışmalar. Bu ölçekte geometrik ayrıntı ve biçimsel karmaşıklık ön plandadır.

Yapı / yapı kompleksi ölçeği: Tapınak, villa, hamam veya birbiriyle ilişkili yapı grupları gibi bütüncül mimari birimlerin belgeleme ve modelleme odağını oluşturduğu çalışmalar. Bu ölçekte fiziksel bütünlüğün korunma derecesi ve mekânsal ilişkiler belirleyici hâle gelir.

Alan / kazı alanı ölçeği: Birden fazla kalıntıyı, stratigrafik katmanı, kazı evresini veya geniş arkeolojik bağlamı birlikte ele alan çalışmalar. Bu ölçekte veri yönetimi, katmanlı yapı ve saha kısıtları öne çıkar.

Bu sınıflandırmada fiziksel büyüklük tek başına belirleyici olmayıp, çalışmanın belgeleme ve modelleme odağı esas alınmıştır. Her ölçek kademesi için literatürden bu çalışmanın ölçütlerini karşılayan birer örnek seçilmiş; böylece farklı arkeolojik bağlamların belgeleme süreçleri karşılaştırılabilir hâle getirilmiştir.

3.3. Karşılaştırmalı Değerlendirme Kriterleri

Seçilen üç örnek, çalışmanın üç temel araştırma sorusunu esas alan dört ölçüt üzerinden karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu ölçütler, farklı arkeolojik bağlamlarda belgeleme ve modelleme yaklaşımlarının nasıl farklılaştığını sistematik biçimde ortaya koymayı amaçlamaktadır:

Arkeolojik bağlam ve fiziksel bütünlük: Kalıntının niteliği, korunma durumu, geometrik karmaşıklığı ve fiziksel bütünlük düzeyi. Bu ölçüt, birinci araştırma sorusuna (alanın fiziksel ve mekânsal özelliklerinin belgeleme yaklaşımını nasıl etkilediği) karşılık gelir.

Veri toplama teknikleri: Alanda kullanılan belgeleme yöntemleri (fotogrametri, lazer tarama, İHA vb.) ve bu yöntemlerin alanın koşullarıyla ilişkisi. Bu ölçüt, ikinci araştırma sorusunun veri toplama boyutunu karşılar.

Veri işleme süreçleri: Toplanan verinin işlenmesi, modellenmesi ve kullanılan yazılım/iş akışı. Bu ölçüt, ikinci araştırma sorusunun veri işleme boyutunu karşılar.

HBIM ortamında değerlendirilme biçimi: Üretilen verinin HBIM ortamına nasıl aktarıldığı ve geometrik-semantik bilginin nasıl ilişkilendirildiği. Bu ölçüt, üçüncü araştırma sorusuna (verilerin HBIM ortamında nasıl değerlendirildiği ve hangi yöntemsel çıkarımların üretilebileceği) karşılık gelir.

Her örnek, bu dört ölçüt doğrultusunda değerlendirilmiş; alanın niteliğinin ortaya çıkardığı temel belgeleme problemi, tercih edilen yöntemin bu probleme verdiği yanıt, yöntemin sağladığı olanaklar ve karşılaşılan sınırlılıklar ayrıca belirlenmiştir. Böylece her vaka için yöntemsel bir çıkarım oluşturulmuş ve bu çıkarımlar karşılaştırmalı değerlendirme aşamasında

birlikte tartışılmıştır.

4. BULGULAR: İTALYA ÖRNEKLERİNİN İNCELENMESİ

Bu bölümde, amaçlı örnekleme yoluyla belirlenen üç İtalya örneği, eleman, yapı ve alan ölçeklerini temsil edecek biçimde incelenmektedir. Her örnek; arkeolojik bağlam ve fiziksel bütünlük, veri toplama teknikleri, veri işleme süreçleri ve HBIM ortamında değerlendirilme biçimi açısından ele alınmakta; her vakadan bir yöntemsel çıkarım elde edilmektedir.

4.1. Eleman Ölçeği: Temple of Antas (Antas Tapınağı)

Antas Tapınağı, Sardinya'da yer alan Pön-Roma dönemine ait çok katmanlı bir arkeolojik yapıdır (Bagnolo vd., 2019). Bagnolo vd. (2019) tarafından gerçekleştirilen çalışma, tapınağın tamamından ziyade pronaos bölümündeki altı İyon sütununun belgelenmesi ve modellenmesine odaklandığından, bu araştırmada eleman/mimari eleman ölçeğinde değerlendirilmiştir. Sütunların kaide, gövde ve başlık gibi geometrik açıdan farklılaşan bileşenlerden oluşması, standart BIM nesneleriyle temsil edilmelerini güçleştiren temel modelleme problemini oluşturmaktadır.

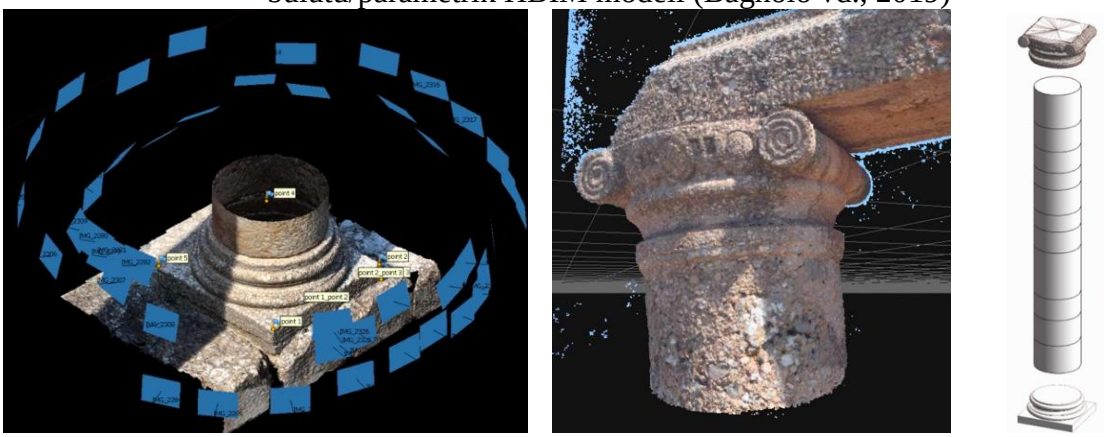
Görsel 1. Antas Tapınağı pronaosu (ön giriş bölümü) (Bagnolo vd., 2019)

Görsel 2. Antas Tapınağı, İyon başlıkları (Bagnolo vd., 2019)

Çalışmada sütunların geometrik belgelenmesi SfM tabanlı fotogrametri ve total station ölçümleriyle gerçekleştirilmiş; fotogrametrik görüntüler Agisoft PhotoScan kullanılarak işlenmiş ve üç boyutlu nokta bulutları üretilmiştir. Nokta bulutlarından elde edilen profiller, sütun bileşenlerinin parametrik modellenmesinde kullanılmıştır. Kaide ve plinth standart parametrik modelleme ile, sütun gövdesi değişken tambur sayısının yönetilebilmesi amacıyla algoritmik modelleme ile; İyon başlığı ise ayrıntı gereksinimine bağlı olarak mesh veya profil tabanlı parametrik modelleme yoluyla temsil edilmiştir. Revit ve Dynamo ortamında geliştirilen süreç, bu farklı modelleme yaklaşımlarının aynı üretim süreci içerisinde bir araya getirilmesine

olanak sağlamıştır. Çalışma, HBIM sürecinin geometrik modelleme aşamasına odaklanmakta; semantik bilgi modellemesi ise sonraki bir aşama olarak ele alınmaktadır (Bagnolo vd., 2019). Antas örneği, eleman ölçeğinde belgeleme ve modelleme yaklaşımının yalnızca fiziksel büyüklüğe değil, mimari elemanın geometrik karmaşıklığına ve hedeflenen temsil biçimine göre farklılaşabildiğini göstermektedir. Aynı sütunun farklı bileşenlerinde parametrik, algoritmik ve poligonal modelleme yaklaşımlarının birlikte kullanılması, karmaşık tarihî geometrilerin BIM ortamında yönetilebilir hâle getirilmesinde tek bir modelleme stratejisinin her durumda yeterli olmayabileceğini ortaya koymaktadır (Bagnolo vd., 2019).

Görsel 3, 4, 5. (Soldan sağa) SfM fotogrametrisiyle görüntü alımı/yoğun nokta bulutu/parametrik HBIM modeli (Bagnolo vd., 2019)



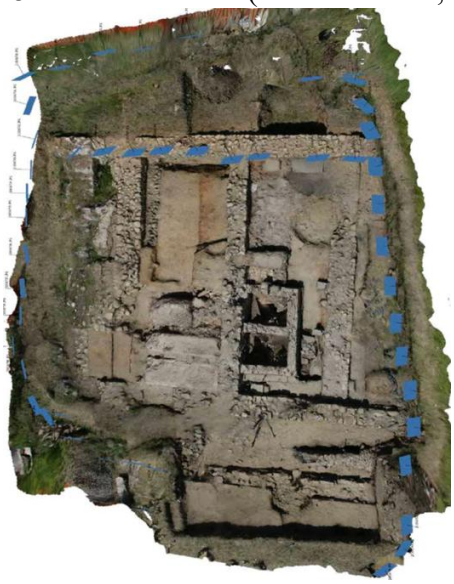
4.2. Yapı Ölçeği: Costigliole Saluzzo Roma Villası

Costigliole Saluzzo Roma Villası, Piemonte bölgesinde yer alan ve yaklaşık 4000 metrekarelik bir alana yayılan arkeolojik bir yapı kompleksidir (Dodero Podio, 2018). Günümüzde villanın yalnızca sınırlı duvar yükseltileri ve bazı özgün döşeme kalıntıları korunmuştur. Çalışmanın, mevcut kalıntıların belgelenmesinin yanı sıra villanın bütün mimari organizasyonunun rekonstrüksiyonuna odaklanması nedeniyle örnek, bu araştırmada yapı/yapı kompleksi ölçeğinde değerlendirilmiştir. Bu bağlamda temel problem, fiziksel bütünlüğünü büyük ölçüde yitirmiş bir yapının, mevcut ölçüm verileri ile arkeolojik bilgilerin birlikte değerlendirilerek yeniden yorumlanmasıdır.

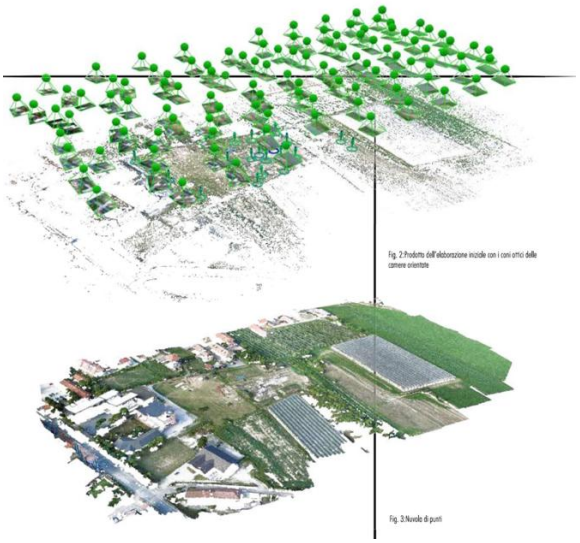
Belgeleme sürecinde İHA fotogrametrisi, yersel lazer tarama, yersel fotogrametri ve topografik ölçümleri bir araya getiren reality-based bir yaklaşım kullanılmış; elde edilen veriler nokta bulutları, ortofotolar, plan ve kesitlerin üretilmesinde değerlendirilmiştir (Dodero Podio, 2018). Üç boyutlu ölçüm verileri daha sonra villanın mimari rekonstrüksiyonuna temel oluşturmuş; arkeolojik kazılar, buluntular ve ilgili çalışmalardan elde edilen bilgiler hacimsel HBIM modeliyle ilişkilendirilmiştir. Böylece model, yalnızca mevcut geometrinin temsili olarak değil; arkeolojik bilginin de ilişkilendirilebildiği, geliştirilebilir bir belgeleme sistemi olarak ele alınmıştır. Bu bütünleşik iş akışı, Costigliole örneğinde farklı veri toplama tekniklerinin birbirini tamamlayacak biçimde kullanıldığını göstermektedir.

Costigliole Saluzzo örneği, yapı ölçeğinde temel problemin yalnızca geometrik ayrıntı değil, eksik fiziksel bütünlüğün farklı veri kaynakları aracılığıyla yorumlanması olduğunu göstermektedir. Antas örneğinden farklı olarak burada model, bütünüyle mevcut geometrinin parametrik temsiline değil; ölçüm verisi ile arkeolojik yorumun birlikte kullanılmasına dayanmaktadır. Bu nedenle fiziksel bütünlüğü düşük arkeolojik yapılarda, farklı belgeleme tekniklerinden elde edilen geometrik verinin arkeolojik ve stratigrafik bilgilerle ilişkilendirilmesi, rekonstrüksiyon sürecinin temel bileşenlerinden biri olarak öne çıkmaktadır.

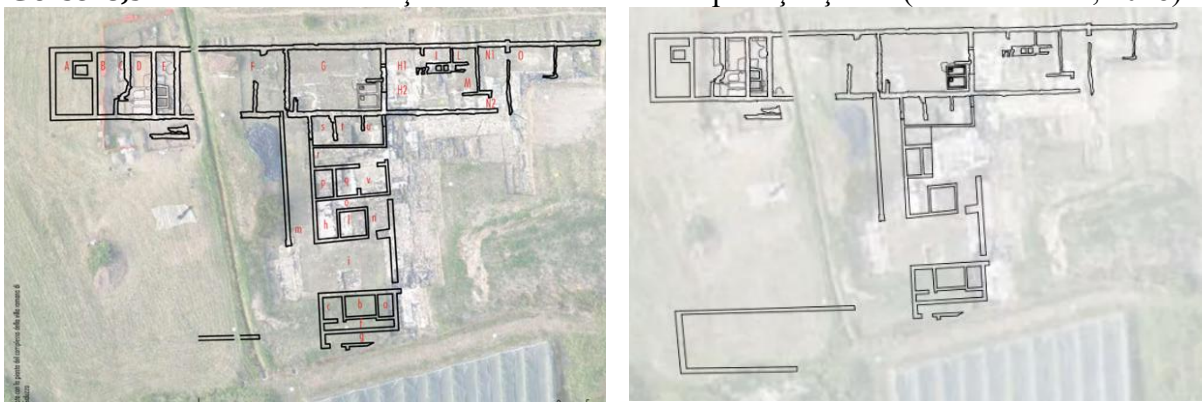
Görsel 6. İHA ortofotosu (Dodero Podio, 2018).



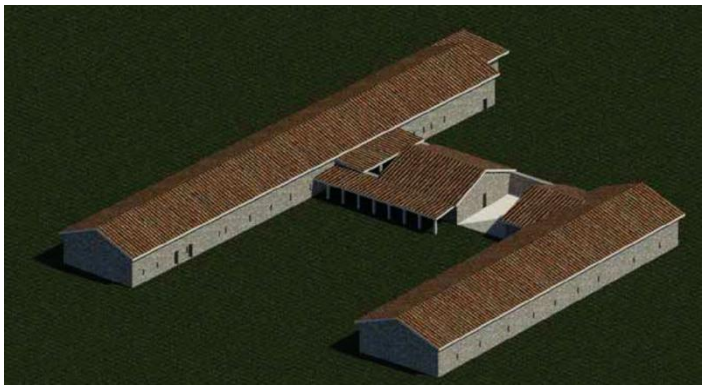
Görsel 7. Kamera konumlu nokta bulutu (Dodero Podio, 2018).



Görsel 8,9. Nokta bulutundan çıkarılan duvar izleri ve plan çalışması (Dodero Podio, 2018).



Görsel 10. Sanal ve varsayımsal rekonstrüksiyon modeli (Dodero Podio, 2018).



4.3. Alan Ölçeği: Napoli Piazza Municipio – Metro Linea 6

Napoli Piazza Municipio'daki arkeolojik alan, metro Linea 6 istasyonu inşaatı sırasında ortaya çıkarılan, Helenistik ve Roma dönemlerine uzanan çok katmanlı bir kentsel kazı alanıdır (Erlacher & Pomini, 2016). Alan; Helenistik ve Roma dönemlerine ait duvar kalıntılarını (opus reticulatum), antik tekne kalıntılarını ve farklı stratigrafik evrelere ait buluntuları bir arada barındırmaktadır. Çalışmanın tekil bir yapıdan ziyade çok sayıda kalıntıyı ve kazı evresini kapsayan geniş bir arkeolojik bağlamı ele alması nedeniyle örnek, bu araştırmada alan/kazı alanı ölçeğinde değerlendirilmiştir. Buradaki temel belgeleme ve modelleme problemi, aktif bir kentsel altyapı şantiyesinin koşulları altında çok katmanlı arkeolojik verinin geometrik olarak belgelenmesi ve bu verinin yönetilebilir bir bilgi sistemi içerisinde düzenlenmesidir.

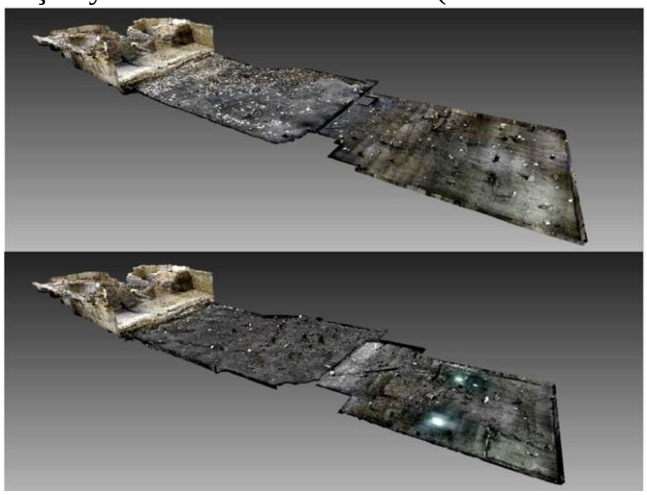
Alanın belgelenmesinde yersel lazer tarama ve fotogrametri birlikte kullanılmıştır. Yoğun kentsel çevre ve şantiye güvenliği nedeniyle İHA kullanımının mümkün olmadığı durumlarda kamera, teleskopik direklere monte edilmiş veya kazı alanı üzerinde kurulan çelik kablo sistemlerine yerleştirilerek fotogrametrik görüntü alımı gerçekleştirilmiştir (Erlacher & Pomini, 2016). Lazer tarama verileri Leica Cyclone'da işlenmiş; farklı nokta bulutları Pointools ve Autodesk ReCap üzerinden dönüştürülerek Revit ortamına aktarılmıştır. Arkeolojik kalıntılar Revit içerisinde modellenmiş; oluşturulan çizelgeler ve paylaşılan parametreler aracılığıyla model elemanları kazı raporları, stratigrafik fişler ve iki boyutlu belgelerle ilişkilendirilmiştir. Böylece üç boyutlu model, geometrik temsilin ötesinde sorgulanabilir bir arkeolojik bilgi ortamına dönüştürülmüştür (Erlacher & Pomini, 2016).

Napoli örneği, alan ölçeğinde temel sorunun tekil bir nesnenin geometrik temsili değil, çok katmanlı ve heterojen arkeolojik verinin saha kısıtları altında belgelenmesi ve yönetilmesi olduğunu göstermektedir. Antas'ta odak karmaşık geometrinin modellenmesi, Costigliole'de eksik fiziksel bütünlüğün arkeolojik bilgiyle yorumlanması iken; Napoli örneğinde temel mesele, farklı nitelikteki verilerin ortak bir HBIM ortamında ilişkilendirilmesidir. Bu örnekten elde edilen yöntemsel çıkarım, alan ölçeğinde belgeleme stratejisinin saha koşullarına uyarlanması gerektiği ve HBIM'in bu ölçekte yalnızca geometrik modelleme değil, stratigrafik ve semantik bilginin yönetimi açısından da işlev kazandığıdır.

Görsel 11. Kazı alanı genel görünüm (Erlacher & Pomini, 2016).

Görsel 12. İHA kullanılamayan alanda çelik kablo ve direk sistemiyle yürütülen veri toplama (Erlacher & Pomini, 2016).

Görsel 13. Üç boyutlu model / nokta bulutu (Erlacher & Pomini, 2016).



4.4. Karşılaştırmalı Değerlendirme

İncelenen üç örnek, farklı fiziksel kapsamların yalnızca çalışma ölçeğini değil, belgeleme ve modelleme sürecinde karşılaşılan temel problemi de değiştirdiğini göstermektedir. Üç örneğin ölçek, fiziksel durum, veri toplama, modelleme yaklaşımı ve HBIM ortamında değerlendirilme biçimi açısından karşılaştırması Tablo 1'de sunulmaktadır.

Table 1. İtalya örneklerinin karşılaştırmalı değerlendirilmesi

Karşılaştırma ölçütü	**Antas Tapınağı**	**Costigliole Saluzzo Roma Villası**	**Napoli Piazza Municipio – Metro Linea 6**
Analitik ölçek	Eleman ölçeği	Yapı ölçeği	Alan ölçeği
Fiziksel durum	Mevcut ve restore edilmiş sütun bileşenleri	Temel ve sınırlı duvar kalıntıları	Çok katmanlı kentsel arkeolojik alan
Temel problem	Karmaşık geometrinin BIM ortamında yönetilebilir biçimde modellenmesi	Fiziksel bütünlüğün ölçüm ve arkeolojik bilgiyle yeniden yorumlanması	Çok sayıda ve katmanlı verinin saha kısıtları altında belgelenmesi ve yönetilmesi
Veri toplama yaklaşımı	SfM fotogrametrisi + total station	İHA fotogrametrisi + TLS + yersel fotogrametri + topografik ölçüm	TLS + fotogrametri; saha koşullarına uyarlanmış görüntü alımı
Veri modelleme yaklaşımı	Parametrik + algoritmik + poligonal modelleme	Benzer yapılardan ve tarihi verilerden mimari rekonstrüksiyon	Nokta bulutlarının birleştirilmesi + Revit tabanlı modelleme ve bilgi ilişkilendirme
HBIM ortamı	Revit + Dynamo	HBIM modelleme programı açık biçimde belirtilmemiştir	Revit
HBIM'in işlevi	Karmaşık mimari bileşenlerin parametrik ve yeniden üretilebilir biçimde modellenmesi	Ölçüm verisi ile arkeolojik yorumun rekonstrüksiyon modelinde ilişkilendirilmesi	Geometrik ve belgesel verinin ortak bilgi ortamında yönetilmesi
Çıkarım	Geometrik karmaşıklığın modelleme yaklaşımını etkilemesi	Eksik fiziksel bütünlüğün arkeolojik yorumla tamamlanması	Saha kısıtları ve çok katmanlı verinin yönetimi

Örnekler tablo 1 üzerinden değerlendirildiğinde, çalışma ölçeği ve saha koşulları farklı belgeleme tekniklerine yönlendirmektedir. Eleman ölçeğindeki Antas örneğinde temel sorun geometrik karmaşıklık ve modelleme süreci iken, yapı ölçeğindeki Costigliole örneğinde fiziksel bütünlük kaybı ve rekonstrüksiyon süreci, alan ölçeğindeki Napoli örneğinde ise saha koşulları ve veri katmanlılığı belirleyici hâle gelmiştir. Bu nedenle ölçek, yöntem seçimini doğrudan belirleyen bir kategori değil, farklı problemlerin karşılaştırılmasını sağlayan bir çerçeve olarak değerlendirilmelidir.

Örneklerin teknik süreçleri incelendiğinde ise dijital iş akışlarının farklılaştığı görülmektedir. Antas ve Napoli örneklerinde HBIM/modelleme ortamı açık biçimde tanımlanırken, Costigliole Saluzzo çalışmasında veri toplama ve işleme yazılımları ayrıntılı olarak açıklanmasına rağmen nihai HBIM modelleme ortamı açıkça belirtilmemiştir. Bu durum, HBIM çalışmalarında yalnızca kullanılan belgeleme tekniklerinin değil, verinin işlenmesi ve iş akışının da açık biçimde tanımlanmasının önemli olduğunu göstermektedir.

5. TARTIŞMA

İncelenen üç örnek bir arada değerlendirildiğinde, çalışmanın temel savı belirginleşmektedir: ölçek, arkeolojik alanların belgeleme ve modelleme süreçlerini karşılaştırmak için yararlı bir çerçeve sunmakta; ancak kullanılacak yöntemi tek başına belirlememektedir. Antas, Costigliole Saluzzo ve Napoli örnekleri, sırasıyla eleman, yapı ve alan ölçeklerini temsil etmekle birlikte, her birinde yöntem tercihini biçimlendiren sadece ölçeğin kendisi değil, alanın nitelikleri olduğu görülmektedir. Bu durum, yöntem seçiminin değişken bir karar olduğunu ortaya koymaktadır. Üç örnekte de belgeleme yaklaşımı; kalıntının fiziksel bütünlüğü, geometrik karmaşıklığı, erişilebilirliği, çalışma alanının koşulları ve hedeflenen bilgi düzeyi tarafından birlikte belirlenmiştir. Antas'ta erişilebilir ve tekil bir mimari öge söz konusu olduğundan görüntü tabanlı teknik yeterli olurken; Costigliole ve Napoli'de geniş, heterojen ve kısmen güç

erişilen alanlar farklı tekniklerin bir arada kullanılmasını gerektirmiştir. Bu nedenle belgeleme yönteminin, alanın karakterinden bağımsız, ölçeğe göre önceden belirlenemeyeceği; her alanın kendi koşulları içinde değerlendirilmesi gerektiği anlaşılmaktadır.
Örneklerin ikisinde birden çok tekniğin birlikte kullanılması, arkeolojik belgelemede hibrit yaklaşımların önemine işaret etmektedir. Üretilen verinin niceliği arttıkça süreç geometrik belgeleme yaklaşımından veri yönetimine doğru kaymaktadır.
Bu bulgular, Türkiye'deki benzer arkeolojik alanlar açısından da değerlendirilebilir. İncelenen İtalya örneklerinden çıkarılabilecek temel sonuç, belirli bir tekniğin ya da yazılımın doğrudan aktarılması değil; yöntem seçimini alanın somut koşullarına dayandıran bir karar mantığının benimsenmesidir. Bu karar mantığının Türkiye'deki farklı ölçek ve korunmuşluk düzeyindeki arkeolojik alanlara uyarlanması, bu çalışmanın sonuç bölümünde önerilmektedir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma, arkeolojik mirasın dijital belgelenmesinde kullanılacak yöntemin yalnızca çalışma ölçeğine göre belirlenemeyeceğini; fiziksel bütünlük, geometrik karmaşıklık, erişilebilirlik, saha koşulları ve hedeflenen bilgi düzeyinin birlikte değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur. Bu bağlamda eleman, yapı ve alan ölçekleri, yöntemi doğrudan belirleyen kategoriler olarak değil, farklı belgeleme problemlerinin sistematik biçimde karşılaştırılmasını sağlayan analitik bir çerçeve olarak değerlendirilmiştir.
İncelenen örnekler sonucunda, Türkiye'de benzer arkeolojik alanlara yönelik dijital belgeleme çalışmalarında öncelikle alanın fiziksel ve arkeolojik özelliklerinin, mevcut korunmuşluk durumunun ve belgeleme amacının tanımlanması; ardından bu koşullara uygun veri toplama ve modelleme yöntemlerinin belirlenmesi önerilmektedir. Tek bir tekniğin alanın gereksinimlerini karşılamadığı durumlarda farklı veri toplama yöntemlerinin birbirini tamamlayacak biçimde hibrit olarak kullanılması; elde edilen geometrik verinin ise arkeolojik ve tarihsel bilgilerle HBIM ortamında ilişkilendirilmesi, daha bütüncül ve sürdürülebilir bir bilgi yönetimi açısından önem taşımaktadır.
Bununla birlikte, dijital belgeleme ve HBIM çalışmalarında kullanılan veri toplama ve işleme araçlarının, yazılımlar arası veri aktarım süreçlerinin ve HBIM modelleme ortamının açık biçimde raporlanması önerilmektedir. Dijital iş akışının bütün aşamalarının tanımlanması, çalışmaların yöntemsel şeffaflığını artırmanın yanı sıra farklı uygulamaların karşılaştırılabilirliği ve tekrarlanabilirliği açısından da önemlidir.
Bu yönüyle çalışma, arkeolojik alanlarda dijital belgeleme ve HBIM uygulamalarını yalnızca kullanılan teknikler üzerinden değil; alanın fiziksel özellikleri, belgeleme gereksinimleri ve yöntemsel sınırlılıklarıyla birlikte değerlendiren ölçek temelli bir karşılaştırma çerçevesi sunmaktadır. İncelenen örneklerin İtalya bağlamı olması nedeniyle, elde edilen çıkarımlar genel bir kural değil, karşılaştırmalı bir değerlendirmenin sonuçları olarak ele alınmalıdır. Bu yöntemsel çıkarımların, Türkiye'de benzer arkeolojik bağlamlarda uygun dijital belgeleme ve HBIM iş akışlarının belirlenmesine yönelik gelecekteki çalışmalar için bir referans oluşturması hedeflenmektedir.

REFERENCES

2863 sayılı Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Kanunu. (1983, 23 Temmuz). *Resmî Gazete* (Sayı: 18113). https://www.mevzuat.gov.tr
Aicardi, I., Chiabrando, F., Lingua, A. M., & Noardo, F. (2018). Recent trends in cultural heritage 3D survey: The photogrammetric computer vision approach. *Journal of Cultural Heritage, 32*, 257–266. https://doi.org/10.1016/j.culher.2017.11.006

Bagnolo, V., Argiolas, R., & Cuccu, A. (2019). HBIM for archaeological sites: From SfM based survey to algorithmic modeling. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-2/W9*, 57–63. https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W9-57-2019

Barontini, A., Alarcon, C., Sousa, H. S., Oliveira, D. V., Masciotta, M. G., & Azenha, M. (2022). Development and demonstration of an HBIM framework for the preventive conservation of cultural heritage. *International Journal of Architectural Heritage, 16*(10), 1451–1473. https://doi.org/10.1080/15583058.2021.1894502

Castellano-Román, M., & Pinto-Puerto, F. (2019). Dimensions and levels of knowledge in Heritage Building Information Modelling, HBIM: The model of the Charterhouse of Jerez (Cádiz, Spain). *Digital Applications in Archaeology and Cultural Heritage, 14*, e00110. https://doi.org/10.1016/j.daach.2019.e00110

D.Lgs. 42/2004. (2004). *Codice dei Beni Culturali e del Paesaggio* (Gazzetta Ufficiale n. 45, 24 Şubat 2004). https://www.bosettiegatti.eu/info/norme/statali/2004_0042.htm

De Reu, J., Plets, G., Verhoeven, G., De Smedt, P., Bats, M., Cherretté, B., De Maeyer, W., Deconynck, J., Herremans, D., Laloo, P., Van Meirvenne, M., & De Clercq, W. (2013). Towards a three-dimensional cost-effective registration of the archaeological heritage. *Journal of Archaeological Science, 40*(2), 1108–1121. https://doi.org/10.1016/j.jas.2012.08.040

Dodero Podio, F. (2018). *Metodi reality based e HBIM per il patrimonio archeologico: Il caso studio della villa romana di Costigliole Saluzzo* [Yüksek lisans tezi, Politecnico di Torino].

Erlacher, A. R., & Pomini, M. (2016). *Utilizzo del BIM nel campo archeologico: I ritrovamenti di Linea 6 della Metropolitana di Napoli in Piazza Municipio* [Yüksek lisans tezi, Politecnico di Milano].

ICOMOS. (1990). *Charter for the protection and management of the archaeological heritage*. International Committee for the Management of Archaeological Heritage (ICAHM), 9th General Assembly, Lausanne.

Kültür ve Tabiat Varlıklarını Koruma Yüksek Kurulu. (1999). *Arkeolojik sitler, koruma ve kullanma koşulları* (İlke Kararı No. 658). Kültür ve Turizm Bakanlığı.

Moullou, D., Vital, R., Sylaiou, S., & Ragia, L. (2024). Digital tools for data acquisition and heritage management in archaeology and their impact on archaeological practices. *Heritage, 7*(1), 107–121. https://doi.org/10.3390/heritage7010005

Murphy, M. (2012). *Historic Building Information Modelling (HBIM): For recording and documenting classical architecture in Dublin 1700 to 1830* [Doktora tezi, Dublin Institute of Technology].

Murphy, M., McGovern, E., & Pavia, S. (2009). Historic building information modelling (HBIM). *Structural Survey, 27*(4), 311–327. https://doi.org/10.1108/02630800910985108

QS Quacquarelli Symonds. (2026). *QS World University Rankings by Subject 2026: Architecture & Built Environment*. Erişim tarihi: 20 Haziran 2026, https://www.topuniversities.com/university-subject-rankings/architecture-built-environment

Sarıcaoğlu, T. (2021). *Arkeolojik miras bilgi yönetimi: HBIM Erythrai (Ildır) örneği* [Yüksek lisans tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi].

Succar, B. (2009). Building information modelling framework: A research and delivery foundation for industry stakeholders. *Automation in Construction, 18*(3), 357–375. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2008.10.003

Yılmaz, H. M., Yakar, M., Güleç, S. A., & Dülgerler, O. N. (2007). Importance of digital close-range photogrammetry in documentation of cultural heritage. *Journal of Cultural Heritage, 8*(4), 428–433. https://doi.org/10.1016/j.culher.2007.07.004

Yaroshevsky AA. (2006). Abundances of chemical elements in the Earth's crust. Geochemistry International 44(1), 48–55.

ŞAVŞAT'IN ORTAÇAĞ TARİHİNDEN BİR KESİT: USTAMİS KALESİ VE STRATEJİK ÖNEMİ

Dr. Öğretim. Üyesi. Abdurrahman SEÇKİN
Kafkas University, Faculty of Arts and Sciences, Central Campus / Kars
ORCID ID: 0000-0002-2766-630X

ÖZET

Bu çalışmada, Artvin'in Şavşat ilçesi sınırlarında yer alan ve tarihî coğrafyada Tao-Klarceti bölgesinin kuzeybatı kesimini kontrol eden Tsepti Tsikhe (Ustamis) Kalesi, mimari özellikleri, stratejik konumu ve tarihî süreçteki rolü bağlamında incelenmiştir. Çoruh Havzası ile Ardahan ve Artvin üzerinden Kafkasya'ya uzanan geçiş yollarını denetleyen kale, Gürcü krallıkları döneminde bölgenin birleşik savunma sisteminin hayati bir parçası olmuştur. Granit taş malzeme kullanımı ve mimari karakteriyle 8–9. yüzyıllara tarihlenen yapı; Bagratlılar dönemindeki iç savaşlarda Kral Gurgen'in sığınağı olması, 1028 yılındaki Bizans seferleri sırasında soyluların eliyle teslim edilmesi ve Osmanlı hâkimiyetine geçiş sürecindeki askerî işleviyle dikkat çekmektedir. Ayrıca kale, 19. yüzyılda Selim Himşiaşvili önderliğindeki hareket sırasında Acaralı savaşçıların son sığınak noktalarından biri olarak tarihî kırılma noktalarına tanıklık etmiştir. Bu araştırma, yazılı kaynaklarda adı sınırlı düzeyde geçen bu stratejik kaleyi ele alarak Şavşat'ın savunma mimarisine ve bölgesel siyasi tarihine ışık tutmayı amaçlamaktadır.

Anahtar Kelimeler: Şavşat, Tseptis Tsikhe, Ustamis Kalesi, Tao-Klarceti, Orta Çağ Savunma Mimarisi,

A GLIMPSE INTO THE MEDIEVAL HISTORY OF ŞAVŞAT: USTAMIS FORTRESS AND ITS STRATEGIC IMPORTANCE

ABSTRACT

This study examines Tseptis Tsikhe (Ustamis/Tsepti Castle), located within the borders of Şavşat district in Artvin Province, Türkiye, which controlled the northwestern part of the historical Tao-Klarjeti region, in terms of its architectural features, strategic location, and historical significance. Overlooking the routes connecting the Çoruh Basin with the Caucasus via Ardahan and Artvin, the castle constituted a vital component of the integrated defensive system during the period of the Georgian kingdoms. Constructed primarily of granite masonry and displaying architectural characteristics dating to the eighth and ninth centuries, the fortress played a significant role in several critical historical events. It served as a refuge for Gurgen during the Bagratid dynastic conflicts, was surrendered to the Byzantines by local nobles during the Byzantine campaign of 1028, and later functioned as an important military stronghold under Ottoman rule. Furthermore, in the nineteenth century, the castle became one of the last refuges of the Ajarian fighters during the movement led by Selim Himşiaşvili, witnessing another important turning point in the region's history. By examining this strategically important fortress, which is mentioned only sparingly in written sources, this study aims to contribute to the understanding of Şavşat's defensive architecture and the political history of the Tao-Klarjeti region.

Keywords: Şavşat, Tseptis Castle, Ustamis Castle, Tao-Klarjeti, Medieval Defensive Architecture.

Giriş

Şavşeti, günümüzde Artvin ilinin Şavşat ilçesine ait tarihî coğrafi alanın ismidir. Tarihî belgelerde "Şavşeti" terimi, günümüz ilçe merkezine odaklanmaktan ziyade o bölgenin tamamını tanımlamaktadır.

Şavşat adına rastlanan ilk tarihi kaynaklar 8. yüzyıla tarihlenir. Tarihsel, coğrafi ve kültürel açıdan incelendiğinde, Şavşat coğrafyası, çevresindeki alanlardan bağımsız düşünülemez. Güney Gürcistan'ın parçası olan Şavşat, Klarceti, Acara ve Meskheti'nin başka bölgeleriyle beraber bu coğrafyada cereyan eden tarihi olayların parçasıydı. Şavşat coğrafyasında Bronz Çağı'ndan beri insan yerleşiminin olduğu bilinmektedir (Mamuladze 2011). Bu topraklar, MÖ 4. yüzyıl sonu Kartli (İberia) Kralı Parnavazi'nin ülkesinde tesis ettiği 8 bölgeden biri olan Klarceti Eristaviliği (Klarceti Prensliği) içine giriyordu (Şengelia 2025). Sonraki yüzyıllara kısaca bakacak olursak, 8-9. yüzyıllarda Tao-Klarceti ve Kartvelta Samepo adlarıyla bilinen Gürcü krallığı içindeydi. Bu krallık, 10. yüzyıl sonunda diğer Gürcü krallıklarından Egrisi-Apkhaz Krallığı'yla (Egris-Apkhazta Samepo) birleşti, böylece oluşan Gaertianebuli Sakartvelos Samepo adlı Birleşik Gürcistan Krallığı 15. yüzyıl ortalarına kadar bu toprakları da kapsıyordu. Sonra krallıktan ayrılan Samtskhe Saatabago adlı Gürcü prensliği 16. yüzyıl ortalarına kadar Şavşat'ın de içinde olduğu tüm Meskheti'ye hâkimdi. 10. yüzyıl başında, Bagrationi hanedanından Kral Gurgen Kurapalati'nin oğlu Aşot Kukhi tarafından Tbeti* Manastırı yapılıp aynı adla piskopokosluk merkezi kurulunca, burada birçok Gürcü kültür materyali üretildi ve Şavşat bölgesinin önemli merkezi oldu (Mamuladze 2011). Bugünkü Şavşat kentinde bulunan Satlel Kalesi'nin de Gürcistan'a Bizans saldırılarının olduğu dönemde, Bizans'a karşı savunma amacıyla 1028 yılında Psikopos Saba Mtbevari tarafından inşa edildiği belirtilmektedir. 13. yüzyılda Birleşik Gürcistan Krallığı'nda sorunlar başladı, ancak bu krallığın dağılması 15. Yüzyılın sonlarında gerçekleşti. Bu tarihte Gürcistan üç krallığa ve prensliklere bölündü. Tao-Klarceti topraklarındaki Samtskhe Saatabago adlı Gürcü prensliği 11. yüzyıldan sonra Cakeli soyadlı Gürcü feodallerin idaresindeydi. Samtskhe Prensi II. Kvarkvare Atabagi, Gürcistan Kralı 8. Giorgi'ye karşı ayaklandı. Samtskhe Prensliği, 15. yüzyılın ikinci yarısında Gürcistan Krallığı'ından bağımsız hale geldi. Bu prenslik tüm Tao-Klarceti ve tarihsel Doğu Çaneti'yi de kapsıyordu (Mamuladze 2011).

Şavşat, tarih boyunca Tao-Klarceti bölgesinin kuzeybatı kesiminde yer alan stratejik konumu sayesinde askerî, idarî ve dinî açıdan önemli bir merkez olmuştur. Çoruh Havzası ile Ardahan ve Artvin üzerinden Kafkasya'ya uzanan geçiş yollarını kontrol eden bölge, Gürcü krallıkları döneminde sınır güvenliğinin sağlanması ve ticaret yollarının denetlenmesi bakımından büyük önem taşımıştır. Bu stratejik konum nedeniyle Şavşat'ta çok sayıda kale, gözetleme yapısı, manastır ve yerleşim merkezi inşa edilmiş; bölge, Orta Çağ boyunca hem savunma sisteminin hem de kültürel hayatın önemli odaklarından biri hâline gelmiştir. Bu savunma yapıları arasında yer alan Ustamis* Tseptis (წეფთის) Kalesi, Şavşat'ın kuzey-güney ulaşım güzergâhını denetleyen konumu ve mimari özellikleriyle bölgenin savunma ağı içerisinde önemli bir yere sahiptir.

Kalenin Tarihî Kaynaklardaki İlk Anılışı ve Yerleşim Hakkında Bilgiler

Tsepta (Tsepti/Tserefti) Kalesi'nin adı, ilk olarak 19. yüzyılda geçmektedir. 1887 yılında Albay V. Lisovski tarafından hazırlanan Çoruh Bölgesi Askerî-İstatistik İncelemesi başlıklı raporda, Ustamisi köyünde 6 hane (18 erkek ve 27 kadın), Tsepta köyünde ise 5 hane (24 erkek ve 30 kadın) yaşadığı belirtilmektedir (Samuşia 2016).

Gürcistan Tarihi, Kartlis Tskhovreba'da kalenin adı "Tserepti Kalesi" olarak geçmektedir.

* Günümüz Cevizli Köyünde bulunan Kilisedir.
* Günümüz Eskikale Köyüdür. Adını Tsepti Kalesinden almıştır.

Sumbat Davitişvili'nin anlatısında ise "Tsepti" biçimi tercih edilmiştir. Araştırmacı I. Sikharulidze'ye göre, "Tserepti" biçimi daha eski olabilir ve bu ad "Tsarapti" (örten/kaplayan toprak) gibi anlamlara işaret edebilir. Sulkhan-Saba Orbeliani'nin Gürcüce sözlüğünde "Tsarapti" kelimesi "birbiriyle birleşik tarlalar, uzun süreli sabanla işlenmiş topraklar" şeklinde tanımlanır (Metreveli 2008). Bu çalışmada kaleyi Tsepti adını esas olarak aldık.

Kale üzerine özel olarak yapılmış kapsamlı bir araştırma bulunmamaktadır. Araştırmacılar zaman zaman kalenin tarihine dair bazı incelemeler yapsalar da son dönemlere kadar sistematik bir haritalama ve detaylı arkeolojik inceleme Türk ve Gürcü araştırmacılar tarafından gerçekleştirilememiştir.

Kalenin yeri ilk olarak 19. yüzyılın ikinci yarısında Gürcü seyyah Giorgi Kazbegi gerçekleştirmiştir. Ancak kaleyi doğrudan gözlemleyememiştir. Kazbegi, "Opiza'nın yukarısında, yaklaşık bir saatlik mesafede Porta ve Tsepta adlı köyler vardır. Buralarda büyük bir kilisenin kalıntıları görülmektedir. Forta'dan ilerleyerek, dağ yoluyla gidildiğinde büyük ama ulaşılması güç bir kale olan Tsepti'nin harabelerine ulaşılır. Bize göre bu yapıların büyüklüğü, Gürcistan'ın eski ihtişamı ve savunma mimarisine dair canlı kanıtlar sunmaktadır," der (Kazbegi 2019).

Yine kale ile ilgili Niko Mar'ın Gezi notlarında şu bilgiler geçmekte "Yukarıya doğru çıktıkça manzara daha da netleşiyor. Görünüm giderek Tsepti Kalesi'nin kalıntıları ve yakınındaki ağaçlarla kaplı alanlara odaklanıyor. Tepenin zirvesinden tüm Şavşat bölgesi görünmektedir. Ustamis köyü ise daha aşağıda olduğundan neredeyse hiç görünmemektedir" (Mari 2015).

Kalenin bulunduğu konum, kayalık yamaçlar üzerinden doğrudan Şavşat Deresi'ne doğru açılmaktadır. Bu nedenle kale, tüm bölgeye hâkimdir. Savunma mimarisi açısından kalenin bulunduğu nokta son derece stratejiktir. Dört yönde de Şavşat-İmerkhevi bölgesi açıkça görülebilmektedir. Aynı zamanda Ardahan geçitlerine giden yollar, Arsian dağ sistemi, bölgede yerleşmiş köyler ve Şavşat'ın tamamı gözlemlenebilir. Bu kale, Şavşat bölgesinin birleşik savunma sisteminin bir parçası olarak inşa edilmiştir ve buradan bölgedeki tüm önemli kaleler izlenebilmektedir.

Kalenin duvarları esas olarak düzgün kesilmiş granit taşlardan yapılmıştır. Düzenli inşa sistemi içerisinde harç ve kırık taş dolgu kullanıldığı görülmektedir. Kale içerisinde, farklı amaçlara hizmet etmiş yapılar olduğu tahmin edilmektedir. Zamanla bu yapıların çoğu yıkılmıştır (Mamuladze 2011).

Kale içindeki yapılara baktığımızda ise günümüze nispeten iyi ulaşabilen tek yapı, kuzeydoğu kesimde bulunan kilise kalıntısıdır. Kilisenin güney tarafına bitişik olarak bir mezar odası bulunmaktadır. Kalenin kuzeybatısında, halk arasında "şarap evi" (marani) olarak adlandırılan bir yapı bulunmaktadır. Bu yapı, kalenin kuzeyinde yer alan geniş bir kaya kütlesinin eteğine inşa edilmiştir (Mamuladze 2011).

Mamuladze'ye göre:

Mimari özellikleri dikkate alındığında kale oldukça erken dönem bir yapıdır. "Kale oldukça eski bir yapı görünümündedir. Büyük olasılıkla 8–9. yüzyıllarda inşa edilmiştir."

Tsepti Kalesi'nin adı tarihî kaynaklarda yalnızca birkaç kez geçmektedir. Bu durum, kalenin önemsiz olduğunu değil, aksine bölgeye ilişkin yazılı belgelerin sınırlı sayıda günümüze ulaşmış olmasından kaynaklanmaktadır. Gürcü tarih yazıcılığında özellikle X ve XI. yüzyıllarda Bagratlılar* dönemi ile Tao-Klarceti bölgesinin siyasi gelişmeleri anlatılırken kaleden söz edilmektedir. Bununla birlikte, kalenin geçmişi bu kayıtlardan çok daha eskiye uzanmaktadır (Samuşia 2016).

Arap istilalarından sonra, Klarceti-Şavşat bölgesindeki diğer tahkimli yerleşimler gibi Tsepti

* Gürcü Kraliyet Hanedanı olan Bagrationlar Türk Kaynaklarında Bagratlılar olarak bilinmektedir.

Kalesi de harap olmuş ve terk edilmiştir. Bölgedeki savunma yapılarının yeniden inşasının IX. yüzyılda Kuropalati I. Aşot'un faaliyetleriyle bağlantılı olduğu kabul edildiğinden, Tsepti Kalesi'nin de bu dönemde yeniden imar edilerek eski stratejik önemini kazandığı düşünülmektedir (Samuşia 2016).

Kale, Kartlis Tskhovreba (Gürcü Kronikleri) külliyatının 6. kroniği olarak kabul edilen Sumbat Davitisdze' de zikredilmektedir. İlk kez, Bagrat'ın oğlu Gurgen'in, Davit Kuropalates'in ordusu tarafından takip edilirken bu kaleye sığınması dolayısıyla; ikinci kez ise 1028 yılı olayları sırasında anılır.

Kartlis Tskhovreba'ya göre III. Bagrat, Abhaz Krallığı'nda düzeni sağladıktan sonra Kldekari Eristavı* Ratı Bağvaşi'yi itaat altına almak istedi. Ancak bu girişim başarısız olunca Trialeti üzerine yürüyerek Karuşeti'de ordugâh kurdu.

Ratı Bağvaşi ise Davit Kurapalatiye elçi göndererek Bagrat'ın asıl hedefinin kendisi olduğunu bildirdi ve onu çatışmaya dâhil etmeyi başardı. Bunun üzerine Davit Kuropalati geniş bir askerî ittifak oluşturdu. Kartlis Tskhovreba'ya göre Davit'in yanında Ermeni kralları ve III. Bagrat'ın dedesi II. Bagrat bulunurken,Vakainüvis Asoghik bu ittifaka Ermeni Kralı Sumbat, kardeşi Gagik ve Kars Kralı Abbas'ın da katıldığını belirtmektedir.

Bu gelişmeler, Gürcistan'da ciddi bir iç savaş tehlikesinin ortaya çıktığını göstermektedir. III. Bagrat Karuşeti'de, Davit Kuropalati ise Cavaheti'deki Dliv'de konuşlanırken, Bagrat'ın babası Gurgen de Şavşat'tan ordusuyla oğluna destek vermek üzere harekete geçmiştir.

Vakayinamede şöyle anlatılır:

"Bagrat'ın babası Gurgen, oğlunun yanına gitmek üzere hazırlanmıştı. Davit Kuropalati ise süratle ilerledi, ordusunu topladı ve bütün Ermeni krallarını çağırdı. Bagrat'ın dedesi olan Gürcü Kralı Bagrat da onun yanına geldi; çünkü oğlu Gurgen'in krallığı ele geçirmesinden korkuyordu. Büyük bir orduyla Dliv'de toplandılar ve Gurgen'in üzerine asker gönderdiler. Gurgen onları karşıladı. Şavşat'ın başında bulunan Gardatkhrilta* denilen yerde savaş yapıldı. Gurgen yenildi, kaçtı ve Tsepti Kalesi'ne sığındı"(Metreveli 2008).

Bu anlatım, Tsepti Kalesi'nin ne derece stratejik ve ele geçirilmesi güç bir savunma noktası olduğunu açıkça göstermektedir. Yenilgiye uğrayan Gurgen için en güvenli sığınak burasıydı ve bu nedenle Tsepti Kalesi'ni tercih etmiştir.

Kale ikinci kez, IV. Bagrat'ın tahta çıkışından sonra Güney Gürcistan'da meydana gelen gelişmeler sırasında tarihî kaynaklarda zikredilmektedir. Bu dönemde kalenin hâkimi Arcevan Holola'nın oğlu Bizans tarafına geçmiş ve Tsepti Kalesi'ni Bizanslılara teslim etmiştir. Bu olay, 1028 yılında Bizans'ın Güney Gürcistan'a yönelik askerî harekâtı sırasında yaşanan siyasî ve askerî gelişmelerin bir parçası olarak değerlendirilmelidir.

1028 yılında Bizans ordusunun komutanı büyük bir kuvvetle Gürcistan'a saldırarak ülkeyi tahrip etmeye başladı. Böylesine kritik bir dönemde dahi bazı Gürcü asilzadelerin ikircikli tutumları Bizanslıların işini kolaylaştırdı. Nitekim Bizans komutanı, bulunduğu askerî durumu doğrudan savaş meydanındaki başarılarından ziyade, Gürcü soylularını kendi tarafına çekerek güçlendirmeyi başardı. Bu asilzadelerin tutumu hem ülkeyi hem de Kral IV. Bagrat'ı ciddi bir tehlike ile karşı karşıya bıraktı. Nitekim dönemin en önemli Gürcü kaynaklarından Kartlis Tskhovreba, Bizans'ın bölgedeki nüfuzunu yerel soyluların desteğiyle genişlettiğini şu ifadelerle aktarmaktadır:

"...Parakimomenos Trialeti'ye geldi... Bu sırada Liparit'in oğlu Kldekari Kalesi'ni elinde bulunduruyordu... Bunun üzerine Çançahi Paleli Bizans'a giderek Garklobi Kalesi'ni

* Eristav Ortaçağ Gürcü Bagratlı hanedanı döneminde, milletin başı anlamında kullanılan siyasi ve askeri bir terimdir.

* Kazılmış Manasına gelen bu yer günümüzde tam olarak bilinmemektedir.

Bizanslılara teslim etti; Arcevan Holola'nın oğlu da Tsepti Kalesi'ni Bizanslılara verdi." (Metreveli 2008; Arakhamia 1990).

Bu gelişmeler, Bizans'ın yalnızca askerî güçle değil, aynı zamanda bölgenin nüfuzlu feodal beylerini kendi safına çekerek ilerlemeye çalıştığını göstermektedir. Buna karşılık Piskopos Saba Mtbevari'nin özverili faaliyetleri ve Şavşat'ın kararlı savunması sayesinde bölge bütünüyle Bizans hâkimiyetine girmekten kurtuldu. Saba, piskoposluğuna bağlı halktan oluşturduğu kuvvetlerle Bizans ordusuna ve onlarla iş birliği yapan asilzadelere karşı mücadele ederek vatanına bağlı Gürcü halkını örgütledi. Bu direniş, IV. Bagrat'ın mücadelesini önemli ölçüde kolaylaştırdı.

Bizans yönetimi, askerî yöntemlerle istediği sonuca ulaşamayacağını anlayınca bu kez farklı bir siyaset izledi. Halkı kendi tarafına çekmek ve merkezi yönetime olan bağlılığı zayıflatmak amacıyla Prens Demetre'yi Gürcistan'a gönderdi. Böylece Bizans, Gürcü halkına asıl amacının ülkeyi işgal etmek değil, meşru bir Gürcü prensini tahta çıkarmak olduğu izlenimini vermeye çalıştı (Javakhişvili 1983).

Şavşat'ta Bizans'a karşı direnişin başına Saba Mtbevari geçti. Bizanslılar ise Klarceti ve Şavşat üzerine yürüyen ordunun başına Demetre Gurgen'in oğlunu getirdiler. Demetre, 1011-1012 yıllarında III. Bagrat tarafından önce Panaskerti, ardından Tmogvi kalelerinde hapsedilen Klarceti Bagrationi hanedanının mensuplarının soyundan geliyordu. Gürcü kaynakları bu hanedanı "Klarceti hükümdarları" olarak adlandırmaktadır.

Bu nedenle Tsepti Kalesi'nin hâkiminin Bizans tarafına geçmesi açıklanabilir bir durumdur. Çünkü Şavşat eskiden Klarceti hükümdarlarının toprağıydı ve Arcevan Holola oğlu eski efendilerinin soyundan gelen Demetre'yi desteklemiştir. Bizanslılar da bu meşruiyet iddiasını çok iyi bildiklerinden, bunu Gürcistan'a karşı yeni bir savaş başlatmak için uygun bir fırsat olarak değerlendirmişlerdir. Demetre'nin gelişiyle mücadele daha da şiddetlendi. Klarceti ve Şavşat'ta merkezi krallığı destekleyenlerin sayısı giderek azaldı. Ancak İmparator VIII. Konstantinos'un ölümü ve yeni imparator III. Romanos ile Gürcü tarafı arasında başlayan müzakereler sayesinde bölgede siyasi denge yeniden sağlandı. Bununla birlikte Klarceti-Şavşat'taki bazı kalelerde, muhtemelen Tsepti'de Bizans garnizonları XI. yüzyılın 1070'li yıllarına kadar kalmaya devam etti. Bizans kuvvetlerinin bölgeden tamamen çekilişi ise büyük ihtimalle II. Giorgi döneminde gerçekleşmiştir (Samuşia 2016).

Bundan sonra Tsepti Kalesi hakkında yazılı kaynaklarda bilgiye rastlanmamaktadır. Ancak Tbeti Ruhlar Vakayinâmesi'nde[*] Belgenin teolojik giriş bölümü, alışılmadık derecede çok sayıda kutsal mekânın anılması bakımından dikkat çekmektedir. Bu kutsal yerlerin bir bölümü Şavşat-Klarceti sınırları içinde yer alırken, diğerleri Samtshe-Cavaheti'nin tamamına yayılmaktadır. Liste, bölgede aziz kültünün yayılışını göstermesi bakımından da önem taşımaktadır. Sayılan kiliselerin büyük çoğunluğu (Vani, Şavat'ın Nisla'sı, Tba, Zğuderi, Kaşueti, Tsepti ve Çihori) Aziz Georgios'a adanmıştır. Diğerleri ise Agara, Atskuri, Vardzia ve Oğoro'da Meryem Ana'ya ithaf edilmiştir. Sinikot Kilisesi ise Dokuz Aziz Şehit adına adanmıştır (Surguladze 2018), (Enukidze 1977). Tbeti Ruhlar Vakayinâmesi'ndeki bu kayıt, Tsepti'nin yazılı kaynaklarda adına rastlanan son dolaylı bilgilerden birini oluşturmaktadır. Bundan sonraki süreçte kale hakkında doğrudan bilgi veren herhangi bir kaynağa ulaşılamamaktadır. Ancak XVI. yüzyılın başlarından itibaren Osmanlı Devleti Güney Gürcistan'ı ele geçirmek amacıyla seferler düzenlemiş, yüzyılın ortalarında Klarceti ve Şavşat üzerinde hâkimiyet kurmuştur. XVII. yüzyıla gelindiğinde bölge Çıldır Eyaleti'ne bağlanmış ve

[*] Tbeti Sulhta Matiani, XII-XVII. yüzyıllara ait Eserde, 588 anma kaydı korunmuş olup bunlar, Güneybatı Gürcistan'ın tarihî coğrafyası, bölgedeki soy ve ailelerin tarihi ile antroponimi (kişi adları bilimi) araştırmaları açısından son derece zengin veriler içermektedir.

Evliya Çelebi'nin verdiği bilgilere göre Şavşat, eyaletin sancaklarından biri hâline gelmiştir (Emecen 1993). Bu süreçte Tsepti Kalesi'nin de Osmanlı askerî garnizonlarından biri olarak kullanıldığı değerlendirilmektedir.

Giorgi Kazbeginin Notlarında, Şeyh Şamil ile Osmanlı Devleti arasındaki gizli temaslar neticesinde, Osmanlı Gürcistanı'nda Ahıska'yı hedef alan bir operasyon için görevlendirilen bir ajan bölgeye hareket etmiştir. Yerel beylerin desteğiyle hemen hemen 10.000 kişilik bir ordu oluşturulmuş ve henüz 15 yaşındaki Selim Himşiaşvili bu hareketin komutasını devralmıştır.

Ayaklanmanın gerekçesi halka Ruslara karşı bir direniş olarak yansıtılsa da asıl niyetin Tanzimat idaresine karşı bir isyan başlatmak olduğu anlaşılmıştır. Silah ve mühimmat eksikliğinin yanı sıra beyler arasındaki iktidar çekişmeleri bu teşebbüsün başarısızlıkla sonuçlanmasına yol açmış, neticede pek çok bey Osmanlı birliklerine teslim olmuştur.

300 Acaralı savaşçıyla birlikte Tsepti Kalesi'ne çekilen Selim Bey, buradan Batum yoluyla Trabzon'a, oradan da İstanbul'a intikal ettirilmiştir. Osmanlı hükümeti, Rus tarafının olası tepkilerini dindirmek maksadıyla Selim Bey'i ve kimi önde gelen beyleri bir süre Selanik'te gözetim altında tutmuştur (Kazbegi 2019).

Sonuç

Kayalık yamaçlar üzerinden Şavşat Deresi'ne açılan ve dört yönüyle tüm Şavşat-İmerkhevi bölgesine, Ardahan geçitlerine ile Arsian dağ sistemine hâkim olan kale, Şavşat'ın birleşik savunma sisteminin hayati bir parçasıdır. Düzgün kesilmiş granit taşlardan, harç ve kırık taş dolguyla inşa edilen kalenin mimari özellikleri, yapının 8-9. yüzyıllara kadar uzanan erken dönem bir savunma yapısı olduğunu göstermektedir. Yazılı kaynaklarda sınırlı sayıda geçmesine rağmen kale, Gürcü iç savaşları sırasında Gurgen'in sığındığı güvenli bir üs, 1028 yılındaki Bizans seferinde yerel soyluların ihanetiyle Bizans'a teslim edilen stratejik bir nokta ve son olarak 19. yüzyılda Selim Bey ile 300 Acaralı savaşçının sığındığı son sığınak olarak tarihî kritik kırılma noktalarına tanıklık etmiştir. 16. yüzyılın ortalarında Osmanlı hâkimiyetine giren bölgede Çıldır Eyaleti'ne bağlanan Şavşat'ın bir parçası olan kalenin, Osmanlı döneminde de askerî garnizon olarak kullanıldığı değerlendirilmektedir.

Kaynakça

Arakhamia G, (1990). Sumbat Davitis-Dze, Tskhovreba da Utsyebai Bagratonianta, Mecniereba, Tbilisi.

Emecen F, (1993), "Çıldır Eyaleti", Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi (İstanbul: TDV Yayınları, 1993), Cilt 5.

Enukidze T, (1977). Tbetis Sulta Matiane, Teksti Gamosacemad moamzada, Gamokvleva Da Sadzıeblebi Daurto, Mecniereba, Tbilisi.

Javakhişvili İ, (1983). Tkhzulebani, Sakartvelos SSR Mecnierebata Akademia Tbilisis Sakhelmtsifo Universiteti, Tormed Tomad, Tomi II. Tbilisi.

Kazbegi G, (2019). Bir Rus Generalinin Günlükleri Türkiye Gürcistam'nda Üç Ay= Gürcüceden Çeviren: Rıdvan Atan, Doruk Yayınevi, İstanbul.

Mamuladze Ş, (2011). Şavşeti, SoTa rusTavelis saxelmwifo universiteti qarTvelologiis instituti, gamomcemloba "horosi XXI", Tbilisi.

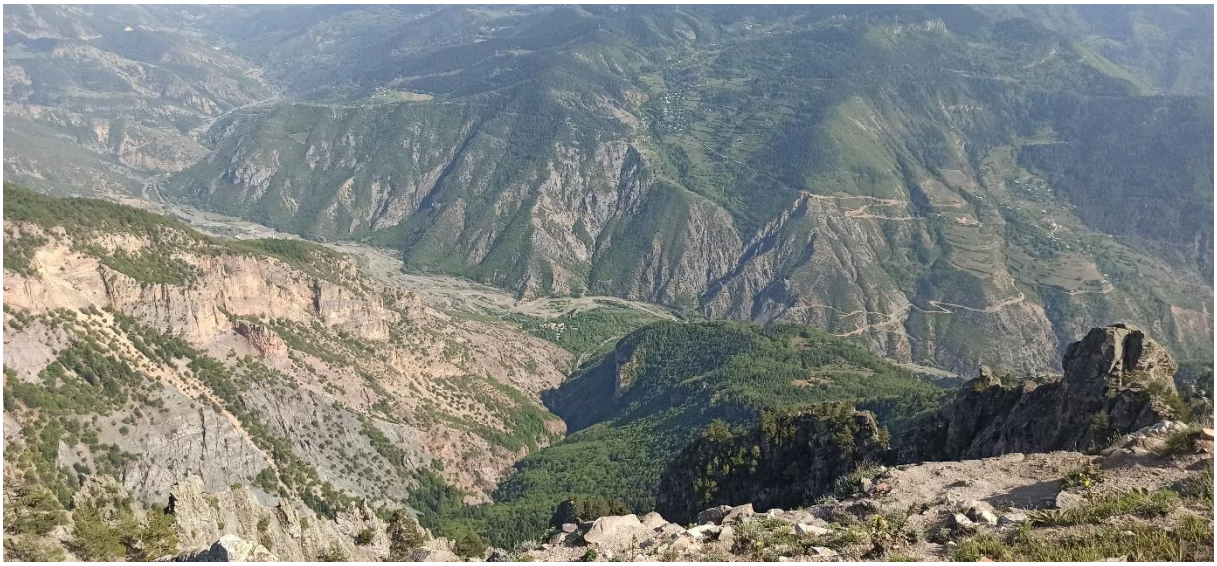
Mari M, (2015). Savsetsa Da Klarjetsi Mogzaurobis Driurebi. Rusulidan Targmna R. Diasamizem. Batumi.

Metreveli R, (2008). Matiane Kartlisa, Kartlis Tskhovreba, Gamomcemloba Artanuji, Tbilisi.

Samuşia J, (2016). Weftis Tsikhe, İvane Javaxisvilis Saxelobis Tbilisis Saxelmwifo Universitetis Saqartvelos İstoriis İnstitutis Sromebi. Specialuri Gamosveba. Sota Mesxia – 100 Tbilisi. 2016.
Surguladze M, (2018). Tao-Klarjetis Mtsignobruli Memkvidreoba (Gamokvleva, Tekstebi), Mtavari Redaktori, Mzisa, Tbilisi.
Şengelia K, (2025). Gürcistan, İmparatorluklar arasında bir tarih, Türkçesi, Harun Çimke, Vakıfbank Kültür yayınları, İstanbul.

Görsel 1:

Görsel 2:



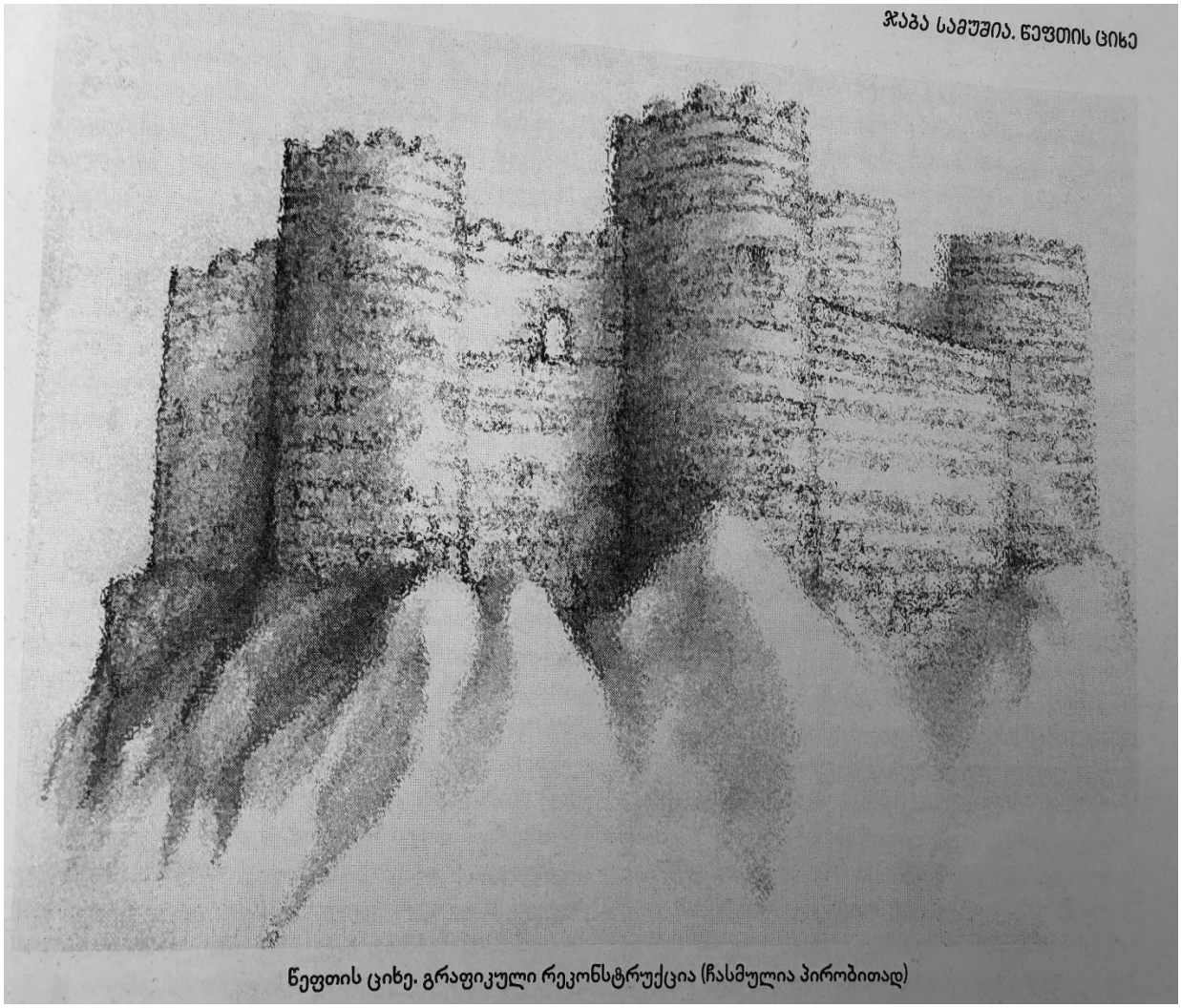
Görsel 3:

Görsel 4:

Görsel 5

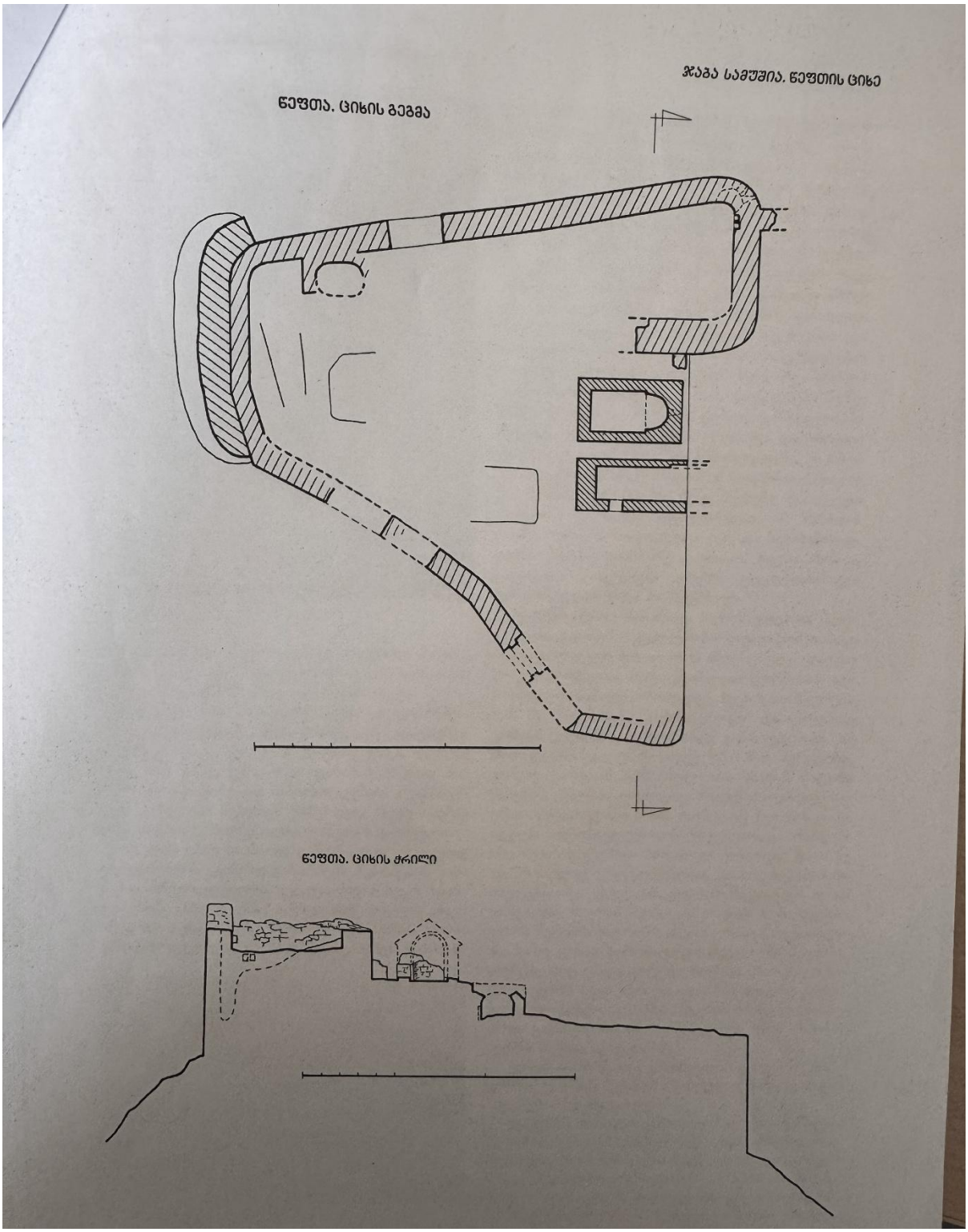
Görsel 6:

Görsel 7



წეფთის ციხე. გრაფიკული რეკონსტრუქცია (ჩასმულია პირობითად)

***Kalenin Grafikle yeniden yapılandırılması**
Tao-Klarcetis Cikhe- Simagreebi T1, Editörler, Giorgi Bagrationi, Bondo Kupatadze, Jaba Samuşia, tseftis tsikhe, Tbilisi, 2020, s.79.



(Jaba Samuşia 2016, 261) Kalenin Planı

Görsel 8

Çalışmada kullanılan kale görselleri tarafımdan çekilmiş olup şahsi arşivime aittir.

RİZE İLİNDEKİ BAZI ÇOCUK OYUN PARKLARININ ÇEVRELERİNDEN TOPLANAN TOPRAK ÖRNEKLERİNDEKİ DOĞAL VE YAPAY RADYONÜKLİTLERİN AKTİVİTE KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ

Doç. Dr. Nilay AKÇAY
Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Physics, 53100 Merkez, Rize
ORCID ID: 0000-0002-9717-4829
Doç. Dr. Erkan Kırış
Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Physics, 53100 Merkez, Rize
ORCID ID: 0000-0003-2015-6005

ÖZET
Çocukluk, 18 yaşın altındaki bireyleri kapsayan bir dönemdir. Oyun ise çocukların günlük yaşamlarında önemli bir yer tutan temel bir etkinliktir. Çocuklar oyunlarla fiziksel, sosyal ve bilişsel yeteneklerini geliştirir. Çocuklar evde oyun oynayabileceği gibi parklardan, bahçelerden ve kapalı oyun alanlarından da faydalanabilmektedir. Nüfusun artması ve sosyal hayatın gelişmesi ile birlikte belediyeler de yerleşim alanlarında ve konutların olduğu bölgelerde oyun parklarının kurulmasına ve artırılmasına yönelik faaliyetlere önem vermektedir. Özellikle bu parklar çocukların çevreleriyle doğrudan etkileşim kurdukları ve zamanlarının önemli bir kısmını geçirdikleri açık alanlardır. Parkların çevrelerinde bulunan topraklar gerek yapıları gereği gerekse de atmosferden ulaşan doğal veya yapay radyonüklitleri barındırabilmektedir. Bu radyonüklitler aktivite konsantrasyonlarına bağlı olarak zamanla o parklarda oynayan çocukların, yanlarında bulunan ailelerinin ve çevreden geçen insanların dış radyasyon dozuna maruz kalmasına neden olabilmektedir. Bu çalışmada Rize ilindeki bazı çocuk oyun parklarının çevrelerinden toplanan toprak örneklerindeki doğal (^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K) ve yapay (^{137}Cs) radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi amaçlandı. Rize ilindeki 20 farklı çocuk oyun parkının çevresinden toplanan toprak örnekleri laboratuvarda ölçüm için hazırlandı. Örneklerin radyonüklit analizleri yüksek çözünürlüklü gama spektrometre sistemi kullanılarak gerçekleştirildi. Analizler sonucunda ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K ve ^{137}Cs için ortalama aktivite konsantrasyonları sırasıyla 24.26 Bq/kg, 21.11 Bq/kg, 371.01 Bq/kg ve 4.36 Bq/kg olarak bulundu. Bu değerler çeşitli ulusal ve uluslararası değerlerle karşılaştırıldı ve onlarla uyumlu oldukları görüldü.
Anahtar kelimeler: Park, toprak, radyoaktivite, gama, spektroskopi

DETERMINATION OF ACTIVITY CONCENTRATIONS OF NATURAL AND ARTIFICIAL RADIONUCLIDES IN SOIL SAMPLES COLLECTED AROUND SOME CHILDREN'S PLAYGROUNDS IN RIZE PROVINCE

ABSTRACT
Childhood is a period that encompasses individuals under the age of 18. Play is a fundamental activity that holds a significant place in children's daily lives. Children develop their physical, social, and cognitive abilities through plays. Children can play at home, as well as in playgrounds, gardens, and indoor play areas. With population growth and the development of social life, municipalities are also giving importance to activities aimed at establishing and increasing playgrounds in residential areas and housing districts. These playgrounds, in particular, are open spaces where children interact directly with their environment and spend a

significant portion of their time. The soils surrounding playgrounds can contain radionuclides, either due to their composition or from natural or artificial sources in the atmosphere. Over time, depending on their activity concentrations, these radionuclides may cause children playing in these playgrounds, their accompanying family members, and people passing through the surrounding areas to be exposed to external radiation doses. This study aimed to determine the activity concentrations of naturally occurring (^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K) and artificial (^{137}Cs) radionuclides in soil samples collected around some children's playgrounds in Rize province. Soil samples collected around 20 different children's playgrounds were prepared at laboratory for analysis. Radionuclide analyses of the samples were performed using a high-resolution gamma spectrometer system. As a result of the analyses, the average activity concentrations for ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K and ^{137}Cs were found to be 24.26 Bq/kg, 21.11 Bq/kg, 371.01 Bq/kg, and 4.36 Bq/kg, respectively. These values were compared with various national and international values and found to be consistent with them.
Keywords: Playground, soil, radioactivity, gamma, spectroscopy

1. INTRODUCTION

According to article 1 of the United Nations convention on the rights of the child, a child means every human being below the age of eighteen years unless under the law applicable to the child, majority is attained earlier (United Nations, 1989). Childhood is a period in an individual's life during which rapid and comprehensive changes occur in physical, cognitive, social, and emotional areas (Kesler, 2025). During this period, physical activity contributes to children's happiness and is considered an important factor in supporting healthy and positive childhood development (Orhan, 2019).

One of the most fundamental activities that encourages children to move is play. Play has an important role in children's daily lives. Through play, children can become physically active and develop problem solving and decision making skills.

Children can engage in play activities not only at home but also in various other locations such as playgrounds, gardens, schoolyards, and indoor play areas. Outdoor playgrounds, in particular, are important spaces that allow children to learn by interacting with their peers and their environments.

The increasing urban population and density of residential areas are increasing the need for safe open spaces where children can play. Accordingly, local governments, such as municipalities, attach importance to efforts to increase the number of playgrounds, which are public open spaces that children and families can benefit from in their daily lives.

Soils surrounding playgrounds can contain various natural or artificial radionuclides, depending on their structural characteristics and environmental influences. The main radionuclides that occur naturally in soils include those belonging to the ^{226}Ra and ^{232}Th decay series, as well as ^{40}K. In addition, ^{137}Cs, released into the environment as a result of past nuclear activities, is another important artificial radionuclide that can be found in soil. These radionuclides, which can be present in soils, may cause children, accompanying adults, and other individuals in the surrounding area to be exposed to radiation doses through external irradiation due to the gamma rays they emit, depending on their activity concentrations.

A review of the literature reveals that there are limited studies investigating the natural and artificial radionuclides present in playgrounds, which are an important part of children's daily lives. The aim of this study is to determine the activity concentrations of naturally occurring (^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K) and artificial (^{137}Cs) radionuclides in soil samples collected around some children's playgrounds in Rize province.

2. MATERIAL AND METHODS

In this study, soil samples were collected in 2021 from the surroundings of 20 different children's playgrounds in Rize province, whose coordinates are given in Table 1. The samples brought to the laboratory were dried under appropriate conditions and then transferred to 100 mL transparent plastic containers. To allow the samples to reach secular equilibrium between the radioactive decay products and the parent nuclei, the containers were sealed and left to stand for at least one month.

After the waiting period, each sample was measured for 20000 s using with a high purity germanium (HPGe) detector system. The ^{226}Ra (^{238}U) activity concentration of the soil samples was determined using the gamma energy peaks of ^{214}Pb at 295.2 keV and 351.9 keV and ^{214}Bi at 609.3 keV. The activity concentration of ^{232}Th was calculated using gamma energy peaks of 583.2 keV for ^{208}Tl and 911.2 keV for ^{228}Ac (Alzubaidi et al., 2016; Ashebir, et al., 2022). The activity concentrations of ^{137}Cs and ^{40}K were determined using gamma energy peaks of 661.6 keV and 1460.8 keV, respectively. Background measurements were used to determine the net gamma peak areas. Energy calibration of the detector was performed using a ^{152}Eu standard gamma source, and spectrum analyses were evaluated via Genie 2000 software.

The activity concentrations of the radionuclides in the soil samples were determined using Equation 1. In Equation 1, n, e, p, t, and m denote the net count rate, detector efficiency, emission probability, counting time, and sample mass, respectively (Ibrahim, 1999).

The minimum detectable activity (mda) concentrations of the radionuclides were calculated using Equation 2, where b, e, p, t, and m represent the background count rate, detector efficiency, emission probability, counting time, and sample mass, respectively (Curie, 1968). The minimum detectable activity concentrations for ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{137}Cs and ^{40}K were determined as 0.20 Bq/kg, 0.25 Bq/kg, 0 and 1.37 Bq/kg, respectively. Since the uncertainties related to the calculated activity concentrations were found by multiplying the corresponding activity concentration values by their respective percentage uncertainties.

$$A(Bq/kg) = \mathrm{n}/(\mathrm{e}\,.\,\mathrm{p}\,.\,\mathrm{t}\,.\,\mathrm{m}) \quad (1)$$

$$mda\ (Bq/kg) = (1.64\ \sqrt{\mathrm{b}})/(e\,.\mathrm{p}\,.\mathrm{t}\,.\mathrm{m}) \quad (2)$$

Table 1. Coordinates of the sampling stations in selected playgrounds in Rize Province, Türkiye.

Station	Coordinates		Station	Coordinates	
1	41.03616 ºK	40.48659 ºD	11	41.02218 ºK	40.52242 ºD
2	41.03888 ºK	40.49458 ºD	12	41.02497 ºK	40.53079 ºD
3	41.03932 ºK	40.50152 ºD	13	41.02372 ºK	40.53509 ºD
4	41.03668 ºK	40.50768 ºD	14	41.02425 ºK	40.54112 ºD
5	41.03295 ºK	40.51073 ºD	15	41.02498 ºK	40.54150 ºD
6	41.02918 ºK	40.50720 ºD	16	41.02505 ºK	40.54166 ºD
7	41.02590 ºK	40.52596 ºD	17	41.02707 ºK	40.54386 ºD
8	41.02624 ºK	40.53250 ºD	18	41.03654 ºK	40.56729 ºD
9	41.02183 ºK	40.51243 ºD	19	41.04715 ºK	40.59222 ºD

10	41.01733 ºK	40.51620 ºD	20	41.05342 ºK	40.61511 ºD

3. RESULTS AND DISCUSSION

The gamma-ray spectrometric results obtained for the soil samples collected from 20 selected playgrounds in Rize Province are presented in Tables 2 and 3. According to Table 2, The ^{214}Pb activity concentrations at 295.2 and 351.9 keV ranged from 3.28 ± 0.48 Bq/kg to 73.11 ± 2.13 Bq/kg and from 2.35 ± 0.27 Bq/kg to 73.24 ± 1.57 Bq/kg, respectively, while the ^{214}Bi activity concentration at 609.3 keV ranged from 4.97 ± 0.45 Bq/kg to 60.75 ± 3.63 Bq/kg. The highest values were generally observed at sampling point 14 and the lowest at point 13, consistent with the ^{226}Ra activity concentrations presented in Table 3.

The ^{208}Tl activity concentration at 583.2 keV ranged from 2.63 ± 0.28 Bq/kg to 18.10 ± 0.65 Bq/kg, whereas the ^{228}Ac activity concentration at 911.2 keV ranged from 5.32 ± 0.75 Bq/kg to 53.54 ± 2.30 Bq/kg. Both radionuclides showed their lowest values at point 13, consistent with the corresponding ^{232}Th activity concentrations in Table 3.

As shown in Table 3, the ^{226}Ra activity concentrations ranged from 3.53 ± 0.40 Bq/kg to 69.03 ± 2.44 Bq/kg, with the highest value recorded at sampling point 14 and the lowest at point 13. The ^{232}Th activity concentrations varied from 3.98 ± 0.52 Bq/kg to 35.68 ± 1.48 Bq/kg. Similar to ^{226}Ra, the maximum ^{232}Th activity concentration was determined at point 14, while the minimum value was observed at point 13. The ^{137}Cs activity concentrations ranged from non-detectable levels to 7.71 ± 0.49 Bq/kg. Detectable ^{137}Cs was observed at 13 of the 20 sampling locations, whereas not detected activity was recorded at points 4, 5, 6, 8, 9, 17, and 20. The highest ^{137}Cs activity concentration was measured at point 14, followed by points 18 and 12.

Table 2. Activity concentrations of ^{214}Pb, ^{214}Bi, ^{208}Tl, and ^{228}Ac in soil samples collected from selected playgrounds in Rize Province, Türkiye

	Activity concentration (Bq/kg)									
	^{214}Pb				**^{214}Bi**		**^{208}Tl**		**^{228}Ac**	
Code	**295.2 keV**		**351.9 keV**		**609.3 keV**		**583.2 keV**		**911.2 keV**	
1	17.15	±1.11	21.76	±0.82	17.01	±0.81	10.84	±0.49	34.11	±1.95
2	14.33	±1.48	14.44	±0.53	11.35	±1.17	7.17	±0.35	19.96	±1.24
3	28.62	±1.35	29.97	±0.99	26.48	±1.07	11.74	±0.48	27.49	±1.61
4	17.36	±0.98	19.71	±0.74	15.12	±0.70	6.39	±0.35	17.29	±1.28
5	35.22	±1.48	33.71	±1.06	25.18	±0.90	13.82	±0.52	40.22	±1.97
6	27.92	±1.43	29.38	±0.97	22.43	±1.06	12.98	±0.54	34.31	±1.82
7	30.55	±1.44	32.64	±1.03	25.89	±1.09	17.12	±0.60	46.29	±2.13
8	39.75	±1.72	44.75	±1.31	34.06	±1.20	18.10	±0.65	46.29	±2.13
9	33.54	±1.41	37.74	±1.06	30.23	±1.02	14.61	±0.53	43.26	±1.93
10	23.34	±1.20	24.04	±0.92	19.37	±0.77	11.99	±0.48	32.74	±1.69
11	19.87	±1.14	21.53	±0.86	16.75	±0.84	10.53	±0.47	27.08	±1.62
12	25.44	±1.45	25.44	±1.02	21.33	±0.96	11.48	±0.52	26.92	±1.76
13	3.28	±0.48	2.35	±0.27	4.97	±0.45	2.63	±0.28	5.32	±0.75

14	73.11	±2.13	73.24	±1.57	60.75	±3.63	17.81	±0.65	53.54	±2.30
15	14.74	±0.94	12.18	±0.62	11.01	±0.61	7.79	±0.40	20.80	±1.33
16	14.43	±0.96	17.65	±0.73	11.67	±0.67	11.21	±0.46	31.03	±1.58
17	18.97	±1.08	22.21	±0.84	18.75	±0.81	9.21	±0.43	26.44	±1.60
18	17.07	±1.02	16.42	±0.70	14.42	±0.69	7.05	±0.37	23.34	±1.35
19	24.92	±1.26	23.19	±0.86	20.20	±0.81	8.24	±0.42	27.60	±1.50
20	24.10	±1.23	23.59	±0.85	18.58	±0.80	11.29	±0.46	38.33	±1.72

Among the radionuclides investigated, ^{40}K showed the highest activity at most sampling locations. The measured ^{40}K activity concentrations ranged from 130.37 ± 6.00 Bq/kg to 656.70 ± 19.70 Bq/kg. The highest value was observed at sampling point 5, followed closely by point 9, whereas the lowest value was recorded at point 13.

In this study, the mean activity concentrations for ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K and ^{137}Cs were found to be 24.26, 21.11, 371.01 and 4.36 Bq/kg, respectively. When these results are compared with the values reported by Kırış (2019) for soil samples collected from the Eastern Black Sea Region, to be 17.43, 21.48, 318.58, and 83.51 Bq/kg for ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K, and ^{137}Cs, respectively, the average activity concentrations of ^{226}Ra and ^{40}K in the present study were found higher, whereas

Table 3. Activity concentrations of ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{137}Cs, and ^{40}K in soil samples collected from selected playgrounds in Rize Province, Türkiye

	Activity concentration (Bq/kg)							
Code	**^{226}Ra**		**^{232}Th**		**^{137}Cs**		**^{40}K**	
1	18.64	±0.91	22.48	±1.22	3.68	±0.35	303.96	±9.30
2	13.37	±1.06	13.57	±0.80	3.01	±0.26	382.08	±8.83
3	28.36	±1.14	19.61	±1.04	6.39	±0.39	339.69	±2.36
4	17.40	±0.81	11.84	±0.82	nd		344.01	±8.88
5	31.40	±1.15	27.02	±1.25	nd		656.70	±19.70
6	26.60	±1.15	23.65	±1.18	nd		350.85	±9.82
7	29.70	±1.19	31.70	±1.36	1.85	±0.27	382.73	±9.11
8	39.52	±1.41	32.19	±1.39	nd		144.61	±6.65
9	33.83	±1.16	28.93	±1.03	nd		651.40	±12.77
10	22.25	±0.96	22.37	±1.08	3.06	±0.32	520.40	±11.24
11	19.38	±0.95	18.80	±1.04	4.39	±0.36	386.03	±10.42
12	24.07	±1.14	19.20	±1.14	6.47	±0.45	295.68	±9.85
13	3.53	±0.40	3.98	±0.52	3.32	±0.30	130.37	±6.00
14	69.03	±2.44	35.68	±1.48	7.71	±0.49	305.65	±9.90
15	12.64	±0.72	14.30	±0.87	3.16	±0.30	333.47	±9.04

16	14.58	±0.78	21.12	±1.02	3.00	±0.30	375.24	±9.38
17	19.97	±0.91	17.82	±1.01	nd		466.19	±10.63
18	15.97	±0.80	15.19	±0.86	7.09	±0.39	364.88	±9.12
19	22.77	±0.97	17.92	±0.96	3.59	±0.32	310.63	±8.70
20	22.09	±0.96	24.81	±1.10	nd		375.54	±9.39
Mean	24.26	±1.15	21.11	±1.06	4.36	±0.35	371.01	±9.55
(UNSCEAR, 2000)	35		30				400	

nd: not detected

the ^{232}Th activity concentration was at a similar level. In contrast, the average ^{137}Cs activity concentration for this study was considerably lower than that reported by Kırış (2019). Compared with the values reported by Keser et al. (2011) for soil samples from Rize Province, which were 51.1, 72.4, 229.3 and 312.9 Bq/kg for ^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K, and ^{137}Cs, respectively, the present study showed a higher average activity concentration of ^{40}K, whereas the activity concentrations of ^{226}Ra ,^{232}Th and ^{137}Cs were lower.

The mean activity concentrations obtained in this study were compared with the worldwide average activity concentrations reported by UNSCEAR (2000) in Table 3, which are 35 Bq/kg for ^{226}Ra, 30 Bq/kg for ^{232}Th, and 400 Bq/kg for ^{40}K in soil. The mean activity concentrations obtained in this study were found lower than the corresponding worldwide averages for all three radionuclides.

4. CONCLUSIONS

The mean activity concentrations of ^{226}Ra, ^{232}Th, and ^{40}K in the investigated soil samples were found as 24.26, 21.11, and 371.01 Bq/kg, respectively. These values were compared with the worldwide average activity concentrations reported by UNSCEAR (2000) in Table 3, which are 35 Bq/kg for ^{226}Ra, 30 Bq/kg for ^{232}Th, and 400 Bq/kg for ^{40}K in soil. The mean activity concentrations obtained in this study were found lower than the related worldwide averages.

In this study, the measured ^{137}Cs activity concentrations varied between 1.85 and 7.71 Bq/kg, with an average of 4.36 Bq/kg. Both the average activity concentration and all detectable individual ^{137}Cs activity concentrations were found to be lower than the global average values reported by UNSCEAR for ^{226}Ra and ^{232}Th in soils. This indicates that the ^{137}Cs activity concentrations in the examined soil samples are quite low, even when compared to the global average levels of the natural background radionuclides ^{226}Ra and ^{232}Th. Based on these results, it can be concluded that the activity concentrations of the natural (^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K) and artificial (^{137}Cs) radionuclides determined in the examined playground soil samples in this study are at a level that does not pose any radiological risk.

REFERENCES

Alzubaidi, G., Hamid, F. B., & Abdul Rahman, I. (2016). Assessment of natural radioactivity levels and radiation hazards in agricultural and virgin soil in the State of Kedah, north of Malaysia. *The Scientific World Journal*, 2016, 6178103.

Ashebir, N.C., Goshu, B.S., & Mengistu, E. (2022). Assessment of natural radioactivity in soil samples and tea leaves at Gumero tea farm, Ethiopia. *Romanian. J. Biophys.* 32(2), 103-119.

Currie, L.A. (1968). Limits for qualitative detection and quantitative determination. Application

to radiochemistry. *Anal. Chem.* 40(3), 586–593.
Ibrahim, N. (1999). Natural activities of ^{238}U, ^{232}Th and ^{40}K in building materials. *Journal of Environmental Radioactivity*, 43(3), 255-258.
Keser, R., Korkmaz Görür, F., Akçay, N., & Okumuşoğlu, N.T. (2011). Radionuclide concentration in tea, cabbage, orange, kiwi and soil and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Rize, Turkey. *J. Sci. Food Agric*. 91(6), 987-991.
Kesler, A. (2025). Çocukluk çağında fiziksel aktivite ve sağlık gelişimi. E. Öztürk Karataş & F. Özoğlu (Ed.), Spor bilimlerinde güncel akademik çalışmalar (59-73). Duvar Yayınları.
Kırış, E. (2019). Radiological evaluation of fruit and soil samples of cherry laurel plant (Prunus laurocerasus L.) growing in the eastern Black Sea region of Turkey. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(2), 229-238.
Orhan, R. (2019). Çocuk gelişiminde fiziksel aktivite ve sporun önemi. *Kırıkkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 9(1), 157-176.
United Nations (1989). Convention on the rights of the child. United Nations General Assembly, Resolution 44/25, 20 November 1989.
United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). (2000). Sources and effects of ionizing radiation: UNSCEAR 2000 report to the General Assembly, with scientific annexes. Volume I: Sources. United Nations.

TÜRKİYE'DE TÜKETİLEN MISIR UNLARINDA DOĞAL VE YAPAY RADYONÜKLİTLERİN AKTİVİTE KONSANTRASYONLARININ BELİRLENMESİ

Doç. Dr. Nilay AKÇAY
Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Physics, 53100 Merkez, Rize
ORCID ID: 0000-0002-9717-4829
Doç. Dr. Erkan Kırış
Recep Tayyip Erdoğan University, Faculty of Arts and Sciences, Department of Physics, 53100 Merkez, Rize
ORCID ID: 0000-0003-2015-6005

ÖZET
Toprakta doğal olarak bulunan ^{226}Ra ve ^{232}Th serilerine ait radyonüklitler ile ^{40}K ve nükleer kazalar sonucu çevreye yayılan yapay ^{137}Cs bitkiler tarafından alınarak besin zinciri yoluyla insanlara ulaşabilmektedir. Ayrıca bu radyonüklitler gıdaların tüketimine bağlı olarak iç ışınlanmaya ve radyasyon dozuna maruziyete neden olabilmektedir. Bu nedenle, gıda ürünlerindeki doğal ve yapay radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi, insan sağlığı açısından önem taşımaktadır.
Bu çalışmada, başta Karadeniz Bölgesi olmak üzere Türkiye'nin yemek kültüründe önemli bir yere sahip olan mısır unlarında doğal (^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K) ve yapay (^{137}Cs) radyonüklitlerin aktivite konsantrasyonlarının belirlenmesi amaçlandı. Bu kapsamda, tamamı Türkiye'deki yerli markalara ait 20 farklı mısır unu örneği, çevrimiçi alışveriş platformları aracılığıyla satın alındı ve gama spektrometrik analiz için laboratuvarda ölçüme hazır hâle getirildi. Örneklerin ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K ve ^{137}Cs aktivite konsantrasyonları, yüksek çözünürlüklü gama spektrometre sistemi kullanılarak belirlendi.
Analiz sonuçlarına göre, beş örnek dışında ^{226}Ra, ve tüm örneklerdeki ^{232}Th aktivite konsantrasyonlarının minimum dedeksiyon limitlerinin (mda) altında olduğu belirlendi. İncelenen örneklerin hiçbirinde ^{137}Cs aktivitesi gözlenmedi. Örneklerdeki ^{40}K aktivite konsantrasyonları 19.27 Bq/kg ile 74.03 Bq/kg aralığında tespit edildi. En yüksek ^{40}K aktivite konsantrasyonuna karşılık gelen ve kişi başına yıllık bir kg mısır unu tüketimi için hesaplanan yıllık etkin doz değeri 0.458 µSv/y olarak bulundu. Bu değer, sindirim yoluyla doğal kaynaklardan alınan ortalama yıllık doz değeri olan 290 µSv değerinden oldukça düşük bulundu. Bu çalışma ile incelenen numunelerin insan sağlığı açısından herhangi bir radyoaktif risk teşkil etmediği sonucuna varılabilmektedir.
Anahtar kelimeler: Mısır unu, radyoaktivite, radyonüklit, gama, spektroskopi

DETERMINATION OF ACTIVITY CONCENTRATIONS OF NATURAL AND ARTIFICIAL RADIONUCLIDES IN MAIZE FLOURS CONSUMED IN TÜRKİYE

ABSTRACT
Radionuclides from the ^{226}Ra and ^{232}Th series, which occur naturally in soil, as well as ^{40}K and artificially produced ^{137}Cs released into the environment as a result of nuclear accidents, can be taken up by plants and reach humans through the food chain. Additionally, these radionuclides can cause internal irradiation and radiation dose exposure due to food consumption. Therefore, determining the activity concentrations of natural and artificial radionuclides in food products

is important for human health.
This study aimed to determine the activity concentrations of natural (^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K) and artificial (^{137}Cs) radionuclides in maize flours, which holds an important place in the food culture of Türkiye, especially in the Black Sea Region. Within this scope, 20 different maize flour samples, all from local Turkish brands, were purchased through online shopping platforms and prepared for laboratory measurement for gamma spectrometric analysis. The activity concentrations of ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K, and ^{137}Cs in the samples were determined using a high-resolution gamma spectrometer system.
According to the analysis results, ^{226}Ra activity concentrations were found to be below the minimum detection limits in all samples except five, and ^{232}Th activity concentrations were found to be below the minimum detection limits in all samples. ^{137}Cs activity was not observed in any of the samples examined. ^{40}K activity concentrations in the samples were found to range from 19.27 Bq/kg to 74.03 Bq/kg. The annual effective dose value, corresponding to the highest activity concentration of ^{40}K and calculated for an annual per capita consumption of one kg of maize flour, was found to be 0.458 µSv/y. This value was found to be considerably lower than the annual average dose of 290 µSv received through ingestion from natural sources. This study concludes that the samples examined do not pose any radioactive risk to human health.
Keywords: Maize flour, radioactivity, radionuclide, gamma, spectroscopy

1. INTRODUCTION

The Chernobyl nuclear power plant accident, which occurred in the 20th century, is one of the most serious nuclear disasters in human history. The radionuclides ^{90}Sr, ^{131}I, ^{134}Cs and ^{137}Cs released into the environment after the accident were not limited to the accident site alone; they were also contaminated by wind and rainfall, reaching surrounding areas and vegetation (TAEK, 2007). ^{137}Cs, in particular, is a radionuclide widely used in the assessment of radioactive contamination because of its long halflife and its ability to accumulate in environmental samples.
Soil, which provides an essential medium for plant growth, is an important environmental source that contains both artificial radionuclides released into the environment as a result of nuclear accidents and naturally occurring radioactive elements, such as radionuclides belonging to the ^{226}Ra (^{238}U) and ^{232}Th decay series and ^{40}K. Gamma rays emitted from radionuclides found in soil can cause external radiation exposure. These radionuclides can also cause internal radiation when taken up by plants and reach humans via the food chain. Therefore, determining the activity concentrations of radionuclides found in food is extremely important for assessing the radiation exposure of humans.
A review of the literature reveals that the activity concentrations of both natural and artificial radionuclides have been investigated in food samples taken from different regions. According to a report published by the Turkish Atomic Energy Authority (TAEK, 2007), the activity concentration of $^{134+137}$Cs in the cabbage from Rize in 1986 was determined to be 25 Bq/kg. In the study conducted by Keser et al. (2011), the activity concentrations of ^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K and ^{137}Cs were determined in orange, kiwi, cabbage and tea samples taken from Rize, and it was observed that ^{40}K had higher activity concentrations compared to other radionuclides. The activity concentrations of ^{238}U, ^{232}Th, ^{40}K and ^{137}Cs in bean grown in Rize were obtained as 0.28, 0.78, 736.79 and 2.81 Bq/kg, respectively, by Görür et al. (2012). The average activity concentrations of the same radionuclides in *Diospyros kaki* L. samples grown in Rize province were found by Akçay (2020), to be 5.01, 5.87, 1438.69 and 21.25 Bq/kg, respectively. In the study conducted by Kırış (2019) on cherry laurel samples grown in Eastern Black Sea Region, the average activity concentrations of ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K and ^{137}Cs were reported as 1.75, 1.03,

215.38 and 2.07 Bq/kg, respectively. Changizi et al. (2013) found the mean activity concentrations of ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K and ^{137}Cs for maize samples from Iran to be 0.81, 0.85, 101.52 and 0.07 Bq/kg, respectively. In the study conducted in Sri Lanka by Jayasinghe et al. (2020), these values in maize were determined as <7, <0.75, 160.83 and <0.62 Bq/kg, respectively.

Figure 1. A traditional dish made from maize flour in the Black Sea region

Additionally, in the study conducted by Altıkulaç (2021) on maize samples in Muğla, the activity concentrations of ^{238}U, ^{232}Th and ^{40}K were found to be 1.19, 1.98 and 38.12 Bq/kg, respectively. Furthermore, the study conducted in İzmir by Çam-Kaynar & Taner (2023), showed the activity concentrations in maize samples of the same radionuclides were found to be 2.9, 1.2 and 91.8 Bq/kg.

Maize was one of the foods that reached the Ottoman Empire after the age of discovery and was widely consumed in Anatolia. It was grown along the coast stretching from Adapazarı to Batum and in some inland areas (Uğurkan & Alyakut, 2020; Kuzucu, 2006). Maize and maize flour, an important food in the cuisines of the Laz, Georgians, Circassians, and Turks, are used in bread production, pastries, cooking meat and fish, and in the preparation of soups, cakes, and various dishes (Kuzucu, 2006; Öksüz, 2016; Uğurkan & Alyakut, 2020). A traditional dish (muhlama) made from maize flour in the Black Sea region, is shown in Figure 1.

The widespread consumption of maize flour in Türkiye, particularly in the Black Sea region, highlights the importance of assessing this product from a food safety perspective. A review of the literature reveals that there are not many studies identifying radionuclides in maize flours in Türkiye. This study aimed to determine the activity concentrations of natural (^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K) and artificial (^{137}Cs) radionuclides in maize flours, which holds an important place in the food culture of Türkiye, especially in the Black Sea Region.

2. MATERIAL AND METHODS

In this study, 20 different maize flour samples, all produced in Türkiye, were obtained from online marketplaces in 2021. Samples brought to the laboratory were transferred to 100 mL

clear plastic sample containers. Each of the samples, which were kept sealed for at least one month, was measured for 86400 s using a high-purity germanium (HPGe) detector system.

The ^{226}Ra (^{238}U) activity concentration of the samples was determined using the gamma energy peaks of ^{214}Pb at 295.2 keV and ^{214}Bi at 609.3 keV. Similarly, the activity concentration of ^{232}Th was determined using the peaks of ^{228}Ac at 911.2 and 968.9 keV gamma energies (Keser et al., 2011). The activity concentrations of ^{137}Cs and ^{40}K were determined using peaks at gamma energies of 661.6 and 1460.8 keV, respectively. Background measurements taken under the same experimental conditions were used to determine the net peak areas. The detector's calibration was performed using a ^{152}Eu standard gamma source, and spectrum analyses were evaluated via Genie 2000 software.

The activity concentrations of the radionuclides were calculated using Equation 1. In this equation, n, e, p, t, and m denote the net count rate, detector efficiency, emission probability, counting time, and sample mass, respectively. Equation 2 was used to determine the minimum detectable activity concentrations (mda) of radionuclides. In this equation, b, e, p, t, and m denote the background count rate, detector efficiency, emission probability, counting time, and sample mass, respectively (Curie, 1968). The minimum detectable activity concentrations for ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{137}Cs and ^{40}K were calculated as 0.20 Bq/kg, 0.25 Bq/kg, 0 and 1.37 Bq/kg, respectively. The uncertainty values associated with the activity concentrations were calculated by multiplying the percentage uncertainty by the corresponding activity concentration.

$$A(Bq/kg) = \mathrm{n}/(\mathrm{e}\,.\,\mathrm{p}\,.\,\mathrm{t}\,.\,\mathrm{m}) \quad (1)$$

$$mda\ (Bq/kg) = (1.64\ \sqrt{\mathrm{b}})/(e\,.\mathrm{p}\,.\mathrm{t}\,.\mathrm{m}) \quad (2)$$

3. RESULTS AND DISCUSSION

The activity concentrations of ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K, and ^{137}Cs determined in the maize flour samples in this study are presented in Table 1. Table 1 shows that ^{226}Ra activity was below the minimum detection limit in most samples, only being detected in samples P3, P4, P8, P9 and P20 as 0.27, 0.72, 0.38, 0.32 and 0.32 Bq/kg, respectively. ^{232}Th activity remained below the minimum detection limit in all samples. ^{40}K activity concentrations ranged from 19.27 ± 1.03 to 74.03 ± 2.33 Bq/kg. ^{137}Cs activity was not found in any of the analyzed samples.

Table 2 compares the radionuclide activity concentrations in food samples reported in the literature with the values obtained in this study. Compared to values reported in the literature, the average ^{226}Ra activity concentration determined in this study appears to be quite low. Since the ^{232}Th and ^{137}Cs radionuclides were not detected in any of the analysed samples, it can be said that the activity concentrations of these radionuclides were below the values indicated in Table 2.

In this study, the average activity concentration determined for ^{40}K was found to be 46.12 Bq/kg. This value is lower than the ^{40}K activity concentrations reported by Changizi et al. (2013) for maize samples in Iran, by Jayasinghe et al. (2020) for samples in Sri Lanka, and by Çam-Kaynar and Taner (2023) for maize samples in İzmir. In contrast, this value is higher than the 38.12 Bq/kg value reported by Altıkulaç (2021) for maize samples in Muğla.

Furthermore, when the results in Table 2 are examined, it is seen that the average ^{40}K activity concentration determined in this study is also lower than the ^{40}K activity concentrations reported by Keser et al. (2011) for orange, kiwi, cabbage and tea samples taken from Rize; Görür et al. (2012) for bean samples taken from Rize; Kırış (2019) for cherry laurel samples taken from Eastern Black Sea Region; and Akçay (2020) for *Diospyros kaki L.* samples taken

from Rize.

In this study, since the highest activity concentrations were found for ^{40}K, the annual effective ingestion dose due to the consumption of one kg of the analyzed samples per person per year was calculated using Equation (3), where U, A and C represent the annual consumption rate (kg/y), activity concentration (Bq/kg), and ingestion dose conversion coefficient (Sv/Bq), respectively. For adults, the recommended ingestion dose conversion coefficient for ^{40}K is 6.2 x 10^{-9} Sv/Bq (ICRP, 2012). The calculated annual effective ingestion doses due to ^{40}K are presented in Table 1.

$$AEID\ (\mu Sv/y) = U \times A \times C \quad (3)$$

According to Table 1, the annual effective ingestion dose due to ^{40}K ranged from 0.119 to 0.458 µSv/y, with a mean value of 0.286 µSv/y. These values were considerably lower than the global annual average dose of 290 µSv from the ingestion of natural radionuclides reported by UNSCEAR (2008).

Table 1. Activity concentrations of ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K, and ^{137}Cs and annual effective ingestion dose due to ^{40}K in the samples

Sample code	^{226}Ra	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs	$AEID_{40K}$ (µSv/y)
P1	<mda	<mda	32.63 ± 1.42	nd	0.202
P2	<mda	<mda	26.99 ± 1.30	nd	0.167
P3	0.27 ± 0.03	<mda	37.48 ± 1.65	nd	0.232
P4	0.72 ± 0.06	<mda	47.53 ± 1.91	nd	0.295
P5	<mda	<mda	48.06 ± 1.93	nd	0.298
P6	<mda	<mda	48.52 ± 1.96	nd	0.301
P7	<mda	<mda	46.31 ± 1.91	nd	0.287
P8	0.38 ± 0.04	<mda	35.97 ± 1.61	nd	0.223
P9	0.32 ± 0.03	<mda	54.30 ± 1.98	nd	0.337
P10	<mda	<mda	45.59 ± 1.94	nd	0.283
P11	<mda	<mda	52.28 ± 2.12	nd	0.324
P12	<mda	<mda	55.20 ± 2.17	nd	0.342
P13	<mda	<mda	62.77 ± 2.17	nd	0.389
P14	<mda	<mda	19.27 ± 1.03	nd	0.119
P15	<mda	<mda	65.17 ± 2.22	nd	0.404
P16	<mda	<mda	60.86 ± 2.18	nd	0.377
P17	<mda	<mda	52.41 ± 1.93	nd	0.325
P18	<mda	<mda	74.03 ± 2.33	nd	0.458
P19	<mda	<mda	26.68 ± 1.28	nd	0.165
P20	0.32 ± 0.04	<mda	30.36 ± 1.44	nd	0.188
Mean	0.40	<mda	46.12	nd	0.286

mda: minimum detection limit, nd: not detected

Table 2. Comparison of the radionuclide activity concentrations in food samples from the literature and the present study

Literature	Food (Location)	^{226}Ra (^{238}U)	^{232}Th	^{40}K	^{137}Cs
TAEK, 2007	Cabbage (Rize, 1986)	-	-	-	25*
	Cabbage (Trabzon, 1986)	-	-	-	25*
	Pepper (Trabzon, 1986)				65*
	Cabbage (Giresun, 1986)	-	-	-	60*
	Bean (Giresun, 1986)				180*
	Tomatoes, eggplants, chard, zucchini (Giresun, 1986)				10*
Keser, et al., 2011	Orange (Rize)	4.4	1.5	299.7	1.0
	Kiwi (Rize)	5.6	2.4	385.9	1.3
	Cabbage (Rize)	22.8	5.9	489.0	1.6
	Tea (Rize)	36.3	23.1	688.4	20.9
Görür et al., 2012	Bean (Rize)	0.28	0.78	736.79	2.81
Kırış, 2019	Cherry laurel (Eastern Black Sea)	1.75	1.03	215.38	2.07
Akçay, 2020	*Diospyros kaki* L. (Rize)	5.01	5.87	1438.69	21.25
Changizi et al., 2013	Maize (İran)	0.81	0.85	101.52	0.07
Jayasinghe et al., 2020	Maize (Sri Lanka)	<7	<0.75	160.83	<0.62
Altıkulaç 2021	Maize (Muğla)	1.19	1.98	38.12	-
Çam-Kaynar & Taner, 2023	Maize (İzmir)	2.9	1.2	91.8	-
Present study	Maize flour (Rize)	0.4	<mda	46.12	nd

* represents a total activity concentration of ^{134}Cs and ^{137}Cs

4. CONCLUSIONS

In this study, the activity concentrations of natural (^{226}Ra, ^{232}Th, ^{40}K) and artificial (^{137}Cs) radionuclides were determined by gamma ray spectrometry in 20 different maize flour samples produced in Türkiye. ^{226}Ra activity was detected at low levels in only five samples, while its activity in the remaining samples and ^{232}Th activity in all samples were below the minimum detectable activity. ^{137}Cs was not detected in any of the analysed samples. The activity concentrations of ^{40}K ranged from 19.27 to 74.03 Bq/kg. Based on the highest ^{40}K activity concentration, the annual effective ingestion dose resulting from the consumption of one kg of maize flour per person per year was calculated as 0.458 µSv/y, which is considerably lower than the reference value of 290 µSv, from the ingestion of natural radionuclides by UNSCEAR (2008). Overall, the results obtained are consistent with those reported in the literature for maize and food samples from different countries and various regions of Türkiye, in this study. Therefore, it can be concluded that the analyzed samples for this study do not pose any radioactive risk to human health.

REFERENCES

Akçay, N. (2020). Determination of activity concentrations of natural and artificial radionuclides in *Diospyros kaki* L. samples grown in Rize province and annual effective dose values. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 7(3), 540-554.

Altıkulac, A. (2021). Analysis of natural radioacivity and determination of potassium content in foods. *Fresenius Environ. Bull.* 30 (6B): 7859-7865.

Changizi, V., Shafiei, E., & Zareh, M. R. (2013). Measurement of ^{226}Ra, ^{232}Th, ^{137}Cs and ^{40}K activities of wheat and corn products in Ilam Province - Iran and resultant annual ingestion radiation dose. *Iranian Journal of Public Health*, 42(8), 903-914.

Currie, L.A. (1968). Limits for qualitative detection and quantitative determination. Application to radiochemistry. *Anal. Chem.* 40(3), 586-593

Çam Kaynar, S., & Taner, İ. (2023). Determination of natural ^{40}K activity concentrations in some food samples by gamma spectrometer. *Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi*, 13(1), 85-93.

Görür, F. K., Keser, R., Akçay, N., Dizman, S., As, N. & Okumuşoğlu, N.T. (2012). Radioactivity and heavy metal concentrations in food samples from Rize, Turkey. J. Sci. Food Agric. 92(2): 307-312.

ICRP (2012). International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 119. Compendium of dose coefficients based on ICRP Publication 60.

Jayasinghe, C., Pinnawala, U. C., Rathnayaka, T., & Waduge, V. (2020). Annual committed effective dosage from natural radionuclides by ingestion of local food growing in mineral mining area, Sri Lanka. *Environmental Geochemistry and Health*, 42(7), 2205-2214.

Keser, R., Korkmaz Görür, F., Akçay, N., & Okumuşoğlu, N.T. (2011). Radionuclide concentration in tea, cabbage, orange, kiwi and soil and lifetime cancer risk due to gamma radioactivity in Rize, Turkey. *J. Sci. Food Agric*. 91(6), 987-991.

Kırış, E. (2019). Radiological evaluation of fruit and soil samples of cherry laurel plant (*Prunus laurocerasus* L.) growing in the eastern Black Sea region of Turkey. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 9(2), 229-238.

Kuzucu, K. (2006). Osmanlı döneminde Karadeniz bölgesinde mısır kullanımı ve mısır tarımını geliştirme çabaları. *Sakarya Üniversitesi Fen Edebiyat Dergisi*, 8(2), 113-126.

Öksüz, A. Y. (2016). Hüzün aş olunca- geleneksel Çerkez mutfağı. İstanbul: Yediveren.

TAEK (2007). Turkish Atomic Energy Authority, Türkiye Büyük Millet Meclisi Araştırma Komisyonu Raporu: 7. yılında Çernobil.

Uğurkan, E., & Alyakut, Ö. (2020). Cultural diversity effect of corn flour on usage: ethnic variation of corn flour in Kartepe sample. *Folklor/Edebiyat*, 26(1), 55-72.

UNSCEAR, 2008. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report to the General Assembly with Scientific Annexes, Volume I: Sources. Report to the General Assembly Scientific Annexes A and B.

OBEZİTE HABERLERİNDE BEDENİN GÖRSEL VE SÖYLEMSEL İNŞASI: İNTERNET HABERLERİ ÜZERİNE BİR İNCELEME

Dr. Öğr. Üyesi Faruk AŞLAKCI
Karabuk University, Faculty of Communication, Department of Journalism
780600 Safranbolu, Karabük
ORCID ID: 0000-0001-8711-3558
Cansel BADEMLİK
Karabuk University, Graduate Education Institute, Department of Public Administration
780600 Safranbolu, Karabük
ORCID ID: 0009-0008-1912-8529

ÖZET
Obezite, biyolojik, psikolojik, toplumsal, ekonomik ve çevresel etkenlerin karşılıklı etkileşimi sonucunda ortaya çıkan kronik ve çok faktörlü bir sağlık sorunudur. Bununla birlikte haber medyası, obeziteye ilişkin bilgileri yalnızca aktarmamakta; kullandığı söylemsel ve görsel tercihler aracılığıyla obezitenin ve obez bedenin toplumsal anlamını da yeniden üretmektedir. Bu çalışmanın amacı, internet haberlerinde obezitenin ve obez bedenin hangi görsel ve söylemsel stratejiler aracılığıyla inşa edildiğini ortaya koymaktır. Bu doğrultuda Cumhuriyet, Hürriyet, Sabah ve Milliyet gazetelerinin internet sitelerinde 2025 yılında yayımlanan toplam dokuz obezite haberi ve bu haberlerde kullanılan görseller nitel bir yaklaşımla incelenmiştir. Haber başlıkları, sözcük tercihleri, uzman açıklamaları, nedensellik ilişkileri, sorumluluk yüklemeleri ve çözüm önerileri söylemsel açıdan; bedenin kadraj içerisindeki konumu, yüzün görünürlüğü, beden bölümlerinin sunumu, mekân, nesneler ve uzman-birey karşıtlığı ise görsel açıdan çözümlenmiştir. Bulgular, obezitenin haberlerde çoğunlukla "salgın", "alarm", "tehlike" ve "mücadele" kavramlarıyla bir sağlık krizi olarak çerçevelendiğini göstermektedir. Haberlerin önemli bir bölümünde obezite; aşırı yeme, hareketsizlik ve öz denetim eksikliği gibi bireysel davranışlarla ilişkilendirilirken bazı haberlerde genetik miras, okul kantinleri ve gıda ortamı gibi çevresel etkenlere de yer verilmiştir. Görsellerde ise yüzü kadraj dışında bırakılan bedenlerin, karın bölgesinin, tartıların, yüksek kalorili yiyeceklerin, enjeksiyon ve cerrahi müdahale görüntülerinin öne çıktığı belirlenmiştir. Bu temsiller obez bireyi kimliği ve deneyimleri bulunan bir özne olmaktan uzaklaştırarak ölçülen, denetlenen ve tıbbi müdahaleye açık bir bedene dönüştürebilmektedir. Sonuç olarak internet haberlerinde obezitenin çok faktörlü yapısının sınırlı biçimde yansıtıldığı; bireyselleştirici, tıbbileştirici ve yer yer damgalayıcı temsil kalıplarının ağırlık kazandığı görülmüştür.
Anahtar Kelimeler: Obezite, sağlık haberciliği, beden, medya temsili, kilo damgalaması, görsel çözümleme, söylem çözümlemesi**.**

THE VISUAL AND DISCURSIVE CONSTRUCTION OF THE BODY IN OBESITY NEWS: AN ANALYSIS OF ONLINE NEWS ARTICLES

ABSTRACT
Obesity is a chronic and multifactorial health condition resulting from the interaction of biological, psychological, social, economic, and environmental factors. However, the news media do not merely convey information about obesity; through their discursive and visual choices, they also reproduce the social meanings attributed to obesity and the body affected by it. This study aims to reveal the visual and discursive strategies through which obesity and bodies associated with obesity are constructed in online news. To this end, nine obesity-related news articles published in 2025 on the websites of the Turkish newspapers Cumhuriyet,

Hürriyet, Sabah, and Milliyet, together with their accompanying images, were examined using a qualitative approach. Headlines, lexical choices, expert statements, causal relations, attributions of responsibility, and proposed solutions were analysed discursively, while the positioning of bodies within the frame, facial visibility, the presentation of body parts, setting, objects, and the expert–individual contrast were analysed visually. The findings indicate that obesity is predominantly framed as a health crisis through concepts such as "epidemic," "alarm," "danger," and "struggle." While a substantial proportion of the news articles associate obesity with individual behaviours such as overeating, physical inactivity, and a lack of self-control, some also address genetic inheritance and environmental factors such as school canteens and food environments. The images predominantly feature faceless bodies, close-ups of the abdominal area, weighing scales, high-calorie foods, injections, and surgical procedures. Such representations may deprive people living with obesity of their identities and lived experiences, reducing them to bodies that are measured, monitored, and subjected to medical intervention. In conclusion, the multifactorial nature of obesity is represented only to a limited extent in online news, while individualising, medicalising, and, at times, stigmatising patterns of representation predominate.
Keywords: Obesity, health journalism, body, media representation, weight stigma, visual analysis, discourse analysis.

1. GİRİŞ

Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ) tarafından obezite, genetik, nörobiyoloji, yeme davranışları, sağlıklı beslenmeye erişim, piyasa güçleri ve daha geniş çevre arasındaki karmaşık etkileşimlerden kaynaklanan kronik, tekrarlayan bir hastalık olarak sınıflandırılmıştır (World Health Organization, 2025). Klinik yaklaşımda Rubino ve arkadaşları ise obezitenin yalnızca beden kitle indeksi (BKI) üzerinden tanımlanmasının bireyin yağ dağılımını ve sağlık durumunu yeterince açıklamadığını ifade etmektedir. Klinik obezite, aşırı yağlanmanın doku ve organ işlevlerinde bozulmaya veya günlük yaşam faaliyetlerinde belirgin sınırlılığa neden olduğu kronik ve sistemik bir hastalık olarak tanımlanmaktadır (Rubino, 2025). Bir başka araştırmada ise obezite, vücuttaki yağ miktarının ve yağ dokusu işlevlerinin metabolik, mekanik ve psikososyal sağlık sorunlarına neden olduğu; kronik, ilerleyici, tekrarlayıcı ve çok faktörlü bir hastalık olarak değerlendirilmektedir (Harold vd, 2022).

Özellikle son yıllarda daha sık gündeme gelen obezite, modern çağın en yaygın hastalıklarından biridir. Beslenme biçimimiz, fiziksel aktivite düzeyimiz, genetik yatkınlığımız, sosyoekonomik koşullarımız, çalışma yaşamı, kentleşme ve gıda politikaları gibi birçok etkenle ilişkili olan obezite, haber medyasında da sıklıkla gündeme gelmektedir. Ancak medya, obeziteye ilişkin gelişmeleri yalnızca kamuoyuna aktaran tarafsız bir aracı değildir. Haberlerde kullanılan sözcükler, başlıklar, uzman açıklamaları, istatistikler ve görsel tercihler; obezitenin nasıl anlamlandırılacağını, obez bireylerin nasıl algılanacağını ve sorunun nedenleri ile çözümünden kimlerin sorumlu tutulacağını yeniden biçimlendirmektedir.

Sağlık haberleri, toplumun doğru bilgiye erişmesinin önemli kaynaklarından biridir. Bireyler hastalıkların nedenleri, sonuçları ve tedavi yöntemleri hakkındaki bilgilerin bir bölümüne medya içerikleri aracılığıyla erişmektedir. Bu nedenle sağlık haberlerinde kullanılan söylem, yalnızca tıbbi bilgilerin aktarılmasını sağlamamakta; aynı zamanda sağlıklı ve sağlıksız, normal ve anormal ya da ideal ve ideal olmayan bedenler arasında kültürel ayrımlar kurulmasına katkıda bulunmaktadır. Özellikle obezite haberlerinde beden, ölçülen, sınıflandırılan, denetlenen ve dönüştürülmesi gereken bir nesne olarak sunulabilmektedir. Kilo verme, diyet yapma ve egzersiz gibi bireysel davranışların öne çıkarılması ise obezitenin toplumsal ve yapısal nedenlerinin geri planda kalmasına yol açabilmektedir.

Obezite haberlerinde kullanılan fotoğraflar, obez bireyleri yalnızca görünür hâle getirmemekte; yüzün kadraj dışında bırakılması ve bedenin belirli bölümlerine odaklanılması gibi tercihler aracılığıyla kilo damgalamasını yeniden üretebilmektedir (Rao vd, 2024). Hatta bazı haberlerde obez bireyler çoğunlukla yüzleri gösterilmeden, karın ve alt beden bölgeleri öne çıkarılarak ya da yeme davranışıyla ilişkilendirilerek temsil edilmektedir (Heuer, 2011). Haberlerde obezitenin nedenleri ve çözümüne ilişkin sorumluluk yüklemeleri, kamuoyunun sorunu nasıl değerlendireceğini etkileyebilmektedir. Obeziteyle ilgili bireysel neden ve çözümlerin öne çıkarılması, obezitenin toplumsal ve çevresel boyutlarını geri plana itmekte (Kim ve Willis, 2007), kimi zaman da haberlerde obezitenin tamamen yaygın bir sorun olduğu öne çıkarılarak hastalığın asıl sebepleri arka plana itilmektedir.

Haber medyasının obeziteyi bireysel tercihler, irade eksikliği, aşırı yeme ve hareketsizlik üzerinden açıklaması, sorumluluğun ağırlıklı olarak bireye yüklenmesine neden olabilmektedir. Böyle bir çerçevede obezite; ekonomik eşitsizlikler, sağlıklı gıdaya erişim, çalışma koşulları, kent yaşamı ve gıda endüstrisi gibi yapısal etkenlerden ayrıştırarak kişisel davranışların sonucu şeklinde temsil edilmektedir. Obezitenin "salgın", "tehdit", "alarm" ve "mücadele edilmesi gereken sorun" gibi ifadelerle tanımlanması ise sağlık sorununu kriz ve tehlike söylemi içerisinde anlamlandırmaktadır. Bu dil, konunun kamusal önemini görünür hâle getirse de obez bireylerin hastalık, başarısızlık veya toplumsal riskle özdeşleştirilmesine ve damgalayıcı yaklaşımların yeniden üretilmesine zemin hazırlayabilmektedir.

Obezite haberlerinde anlam yalnızca yazılı metinler aracılığıyla oluşturulmamaktadır. Haber fotoğrafları, başlıklar ve metinlerle birlikte çalışarak belirli beden imgelerini görünür hâle getirmekte ve haberin nasıl okunacağını yönlendirmektedir. Yüzü gösterilmeyen büyük bedenler, yakın plandan görüntülenen karın bölgesi, dar gelen kıyafetler, tartılar, mezuralar, yüksek kalorili yiyecekler, egzersiz yapan kişiler ve beyaz önlüklü uzmanlar obezite haberlerinde sıklıkla başvurulan görsel göstergeler arasındadır. Bu görsel kalıplar, obez bireyi kişisel kimliği ve toplumsal bağlamından uzaklaştırarak yalnızca beden ölçüsü üzerinden tanımlayabilmektedir. Özellikle yüzün kadraj dışında bırakılması, bireyin özne niteliğini zayıflatırken bedeni anonimleştirilmiş bir sağlık sorunu veya tıbbi inceleme nesnesi hâline getirebilmektedir.

Bu çalışma, internet haberlerinde obez bedenin hangi görsel ve söylemsel stratejiler aracılığıyla inşa edildiğini ortaya koymayı amaçlamaktadır. Bu doğrultuda Cumhuriyet, Hürriyet, Sabah ve Milliyet gazetelerinin internet sitelerinde 2025 yılında yayımlanan toplam dokuz obezite haberi ve bu haberlerle birlikte kullanılan görseller incelenmektedir. Çalışmada haber başlıkları, sözcük tercihleri, tanımlamalar, uzman görüşleri, nedensellik ilişkileri, sorumluluk yüklemeleri ve çözüm önerileri söylemsel açıdan; kişilerin kadrajdaki konumu, bedenin sunuluş biçimi, yüzün görünürlüğü, görsel göstergeler, bakış, mekân ve uzman-birey karşıtlığı ise görsel açıdan ele alınmaktadır.

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

2.1. Cumhuriyet, Hürriyet, Sabah ve Milliyet Gazetelerinde Obezite Haberlerinin Sunumu

Medya haberlerinde beden ağırlığı çoğu zaman toplumsal bir ideal ile karşılaştırılmakta; bu karşılaştırma beden ağırlığını daha da belirginleştirmekte ve ayrıştırmaktadır (Anderson & Bresnahan, 2013). Haberlerde obez bireylerin yüzlerinin gösterilmemesi, yalnızca belirli beden parçalarının öne çıkarılması ve sağlıksız beslenme ya da hareketsizlikle ilişkilendirilmeleri, internet haberciliğinde tekrarlanan görsel temsil kalıpları arasındadır (Puhl vd, 2013).

Obezitenin haberlerde nasıl çerçevelendiği, sorunun nedenleri ve çözümünden kimin sorumlu tutulacağını belirlemektedir. Bireysel çerçeveler sorumluluğu kişinin beslenme ve hareket

alışkanlıklarına yüklerken, sistemik çerçeveler ise çevresel koşullara, ekonomik yapılara ve kamu politikalarına yükleyebilmektedir (Lawrence, 2004). Bu noktada kişilerin medyada damgalandığı, sağlık ve hastalık durumlarının belli çerçevelere hapsedildiği görülmektedir. Goffman'a (1963) göre damgalama; kişinin başkaları tarafından toplumun tam kabulüne uygun görülmemesi sonucunda ortaya çıkan "zedelenmiş kimliğe" ilişkin toplumsal algı ve itibarsızlaştırılmış, lekelenmiş bir toplumsal kimliğin kişisel işaretidir.

2.1.1. Cumhuriyet Gazetesinde Obezite Haberlerinin Sunumu

Haber 1: "Uzmanı Açıkladı: Obezite Ömrünüzden 10-15 Sene Çalıyor!"

"İnönü Üniversitesi Turgut Özal Tıp Merkezi Genel Cerrahi Ana Bilim Dalı Gastroenteroloji Cerrahisi Bilim Dalı Başkanı Prof. Dr. Fatih Sümer, obezitenin, bireylerin yaşam süresini yaklaşık 10-15 yıl kısalttığını ve bunun çok ciddi bir halk sağlığı sorunu haline geldiğini söyledi" (Cumhuriyet, 2025a).

Şekil 1: Kilolu bir bireyin okuyucuya gösterilmesi (Kaynak: Cumhuriyet, 11.03.2025).

Haber ve Fotoğrafın Analizi:

Görsel, obezite haberlerinde sıklıkla kullanılan bireyselleştirici ve damgalayıcı medya söyleminin tipik özelliklerini taşımaktadır. Görselde kilolu bir erkek, koltukta uzanmış ve uyur hâlde gösterilmektedir. Önündeki masada hamburger, atıştırmalıklar ve şekerli içecek bulunduğu anlaşılmaktadır. Kişinin pasif beden duruşu ile yüksek kalorili yiyeceklerin aynı kadrajda buluşturulması, obeziteyi aşırı yeme, hareketsizlik ve öz denetim eksikliğiyle ilişkilendirmektedir. Haberin başlığında ve içeriğinde ise *"Obezite ömrünüzden 10-15 sene çalıyor!"* ifadesi ile *"yaşam ve beslenme alışkanlıklarının değişimi, fiziksel aktivitenin azalması ve dijital cihazlarla vakit geçirmek"* gibi ifadeler okuyucuda korku uyandırma amacı taşımaktadır. Böylece obezite; genetik, ekonomik, çevresel, psikolojik ve toplumsal belirleyicileri bulunan karmaşık bir sağlık sorunu olmaktan çıkarılarak kişinin yaşam tarzı tercihlerinin sonucu gibi sunulmaktadır.

Görselin söylemsel yapısında "çok yiyen, hareket etmeyen ve kendisini kontrol edemeyen obez birey" stereotipi yeniden üretilmektedir. Koltukta uyuyan kişinin edilgenliği; tembellik, iradesizlik ve sorumsuzluk gibi olumsuz anlamları çağrıştırmaktadır. Masadaki yiyecekler ise yalnızca beslenme alışkanlığını göstermekle kalmamakta, kişinin bedensel görünümünün nedeni olarak işaretlenmektedir. Bu görsel ilişki, izleyiciyi "Bu kişi bu şekilde yaşadığı için kilo almıştır" biçiminde nedensel bir okumaya yönlendirmektedir.

Kameranın kadrajına bakıldığında kişinin bütün bedeni kadraja alınmış, özellikle karın bölgesi belirginleştirilmiştir. Bedenin bu biçimde görünür hâle getirilmesi, kişiyi bireysel kimliği ve toplumsal konumundan uzaklaştırarak kilosu üzerinden tanımlanan bir "obez beden"e indirgemektedir. Kişinin gözlerinin kapalı olması ve izleyiciyle iletişim kurmaması da onu kendi yaşamı hakkında söz söyleyen etkin bir özne olmaktan çıkarmakta, dışarıdan

gözlemlenen ve değerlendirilen bir nesneye dönüştürmektedir.
Haber görselinde soğuk mavi ışığın kişinin bedeni üzerine yoğunlaşması, sahneye kasvetli ve sağlıksız bir atmosfer kazandırmaktadır. Arka plandaki sıcak ev ortamıyla kişinin bulunduğu bölüm arasındaki renk karşıtlığı, bireyin bedensel ve ruhsal açıdan çevresinden kopuk olduğu izlenimini güçlendirmektedir. Dağınık masa, tüketilmiş yiyecekler ve edilgen beden birlikte düzensiz, ölçüsüz ve sağlıksız bir yaşam biçimini simgelemektedir.
Bu temsil biçiminin temel sorunu, obezitenin sorumluluğunu bütünüyle bireye yüklemesidir. Sağlıklı gıdaya erişim, gelir düzeyi, çalışma koşulları, kentleşme, gıda endüstrisi, reklamlar, stres, hastalıklar ve genetik yatkınlık gibi yapısal etkenler görünmez kılınmaktadır. Dolayısıyla görsel, obeziteyi toplumsal ve çok boyutlu bir sağlık meselesi olarak değil, bireysel başarısızlık ve yanlış tercih sorunu olarak çerçevelemektedir. Bu yönüyle görsel; aşırı yeme, hareketsizlik, tembellik ve obezite arasında doğrudan bir ilişki kurmaktadır. Bu ilişki, obez bireylere yönelik "iradesiz", "kontrolsüz" ve "tembel" biçimindeki kalıp yargıları yeniden üretmekte, kilolu damgalamasını güçlendirmektedir. Halbuki obezite haberlerinde bireyi suçlayan ve bedenini teşhir eden görseller yerine, obezitenin biyolojik, psikolojik, ekonomik ve çevresel boyutlarını görünür kılan; kişiyi saygın ve etkin bir özne olarak temsil eden görseller tercih edilmelidir.

Haber 2: Obezite ve Yeme Bozuklukları İçin Yeni Tehdit: 'Mukbang' Akımı

"İçerik üreticilerinin büyük miktarlarda yemek yiyerek bu süreci canlı yayın veya görüntü formatında izleyicilerle paylaştığı "Mukbang" akımının obezite, kronik hastalıklar ve yeme bozukluğu gibi sorunlara yol açabileceği bildirildi" (Cumhuriyet, 2025b).

Şekil 2: Sağlıksız yiyecekler (Kaynak: Cumhuriyet, 14.02.2025).

Haber ve Fotoğrafın Analizi:

Şekil 2'de sağlıksız beslenme alışkanlıklarını öne çıkaran ve obeziteyi büyük ölçüde bireysel tüketim alışkanlıkları üzerinden açıklayan bir temsil biçimi sunulmaktadır. Görselin ön planında hamburger, dürüm, patates kızartması ve kızartılmış yiyecekler; arka planında ise büyük boy içecek bardakları ile gülümseyen bir kadın görülmektedir. Yiyeceklerin kadrajın büyük bölümünü kaplaması, izleyicinin dikkatini doğrudan yüksek kalorili ve işlenmiş gıdalara yöneltmektedir. Kadının yüzünün yalnızca bir bölümünün görünmesi ise kişisel kimliğini geri plana itmekte, onu tüketim davranışını temsil eden anonim bir figüre dönüştürmektedir.
Haberde kullanılan *"Obezite ve yeme bozuklukları için yeni tehdit"* ifadesi, güçlü bir risk söylemi oluşturmaktadır. "tehdit" kavramı, sosyal medyada yayılan mukbang içeriklerini halk sağlığını etkileyen yeni bir unsur olarak çerçevelemekte, okuyucuda endişe oluşturmayı amaçlamaktadır. Haberin fotoğrafında ise kadının gülümsemesi, fastfood tüketimini mutluluk, haz ve keyif duygularıyla ilişkilendirmektedir. Bu bakımdan görsel, bir taraftan sağlıksız beslenmenin obeziteye yol açabileceğini düşündürürken, diğer taraftan bu yiyecekleri çekici ve arzu edilir biçimde sunmaktadır. Parlak renkler, yiyeceklerin yakın planda gösterilmesi ve ürün

çeşitliliği, görselin eleştirel bir sağlık haberinden çok, reklam estetiğine yaklaşmasına neden olmaktadır. Bu durum, haberin obezite karşıtlığı mesajı ile görselin iştah uyandırıcı niteliği arasında bir çelişki oluşturmaktadır.

Görselde obez bir beden doğrudan gösterilmemektedir. Buna karşın hamburger, patates kızartması, dürüm ve şekerli içecekler obezitenin görsel göstergeleri olarak sunulmaktadır. Böylece obezite, belirli yiyeceklerle ve kontrolsüz tüketimle ilişkilendirilmekte; sorunun genetik, psikolojik, ekonomik, çevresel ve toplumsal boyutları görünmez hâle getirilmektedir. Yiyeceklerin fazlalığı ve çeşitliliği, kadının aynı anda çok sayıda yiyecek ve büyük boy içecekle gösterilmesi, geleneksel beslenme biçiminden uzaklaşıp ölçüsüzlük ve aşırılıkla bütünleşen ihtiyaçtan fazla tüketim alışkanlığını çağrıştırmaktadır.

Önceki görselden farklı olarak burada kişinin bedeni teşhir edilmemekte ve doğrudan kilo damgalaması yapılmamaktadır. Ancak kişinin yüzünün kesilmesi ve kimliğinin belirsizleştirilmesi, onu belirli bir davranışın sembolüne indirgemektedir. Üstelik kişinin mevcut beden yapısı hakkında bilgi bulunmadığı hâlde tükettiği varsayılan yiyecekler üzerinden gelecekte obez olacağı veya sağlıksız yaşadığı yönündeki anlam güçlendirilmektedir.

Haber 3: "Uzmanlar sağlıklı kişilerin estetik amaçlı bilinçsizce kullanımına karşı uyardı: Reçetesiz zayıflama iğneleri tehlike saçıyor"

"Diyabetle mücadele ve diyete dirençli obezite tedavisinde kullanılmak üzere reçete edilmesi gereken ve halk arasında zayıflama iğnesi olarak bilinen diyabet iğnelerinin kontrolsüz kullanımı büyük bir sağlık riski oluşturuyor. Uzman diyetisyen Özge Bayraktar, zayıflama iğnelerinin olumsuz etkilerini Cumhuriyet'e anlattı" (Cumhuriyet, 2025c).

Şekil 3: Vücuduna iğne yapan birey figürü (Kaynak: Cumhuriyet, 05.07.2025).

Haber ve Fotoğrafın Analizi:

Görsel, obeziteyi tıbbi müdahale ve özellikle enjeksiyon yoluyla uygulanan tedaviler üzerinden çerçevelemektedir. Yakın planda, karın bölgesini açarak elindeki enjeksiyon kalemini vücuduna uygulamaya hazırlanan bir kişi görülmektedir. Görselin yalnızca karın, eller ve enjeksiyon aracına odaklanması, obeziteyi bütüncül bir sağlık meselesinden çok beden üzerinde müdahale edilmesi gereken fiziksel bir sorun olarak sunmaktadır.

Kişinin yüzünün kadraj dışında bırakılması önemlidir. Kimliği, duyguları ve yaşadığı deneyimler görünmez hâle gelirken bedenin belirli bir bölümü öne çıkarılmaktadır. Bu parçalı temsil, kişiyi toplumsal bir özne olmaktan çıkararak tedavi edilecek bir "beden"e indirgemektedir. Karın bölgesinin merkezde bulunması da obeziteyi doğrudan bel çevresi ve yağlanmayla ilişkilendiren egemen görsel kodları yeniden üretmektedir. Haberin başlığında kullanılan "tehlike saçıyor" ifadesi de güçlü bir alarm söylemini pekiştirmektedir. Haber boyunca "kontrolsüz kullanım" ve "ciddi sağlık riski", gibi ifadeler okuyucuda yüksek düzeyde risk algısı oluşturulmaktadır.

Haberin fotoğrafında görülen enjeksiyon kalemi, görselin temel anlam taşıyıcısıdır. Bu araç; tıp, tedavi, bilimsel denetim ve hızlı çözüm gibi anlamları çağrıştırmaktadır. Dolayısıyla görsel, obezitenin ilaç yoluyla kontrol altına alınabilecek bireysel bir sağlık problemi olduğu düşüncesini güçlendirmektedir. Bununla birlikte, kullanılan ilacın türü ve kişinin sağlık durumu hakkında görselden kesin bilgi edinilemez. Görselin bir haber metninde "zayıflama iğnesi" şeklinde sunulması hâlinde, tedavinin kolay, hızlı ve herkes için uygulanabilir bir kilo verme yöntemi olduğu yönünde yanıltıcı bir izlenim oluşabilir.

Görseldeki bedenin belirgin biçimde obez görünmemesi ayrıca dikkat çekicidir. Bu durum, enjeksiyonun yalnızca obezite tedavisiyle değil, estetik incelme ve ideal bedene ulaşma arzusuyla da ilişkilendirilmesine yol açabilir. Böylece sağlık gerekçesiyle uygulanan tıbbi tedavi ile kozmetik amaçlı kilo verme arasındaki sınır belirsizleşmektedir. İnce veya normal kilolu olarak algılanabilecek bir bedenin kullanılması, "her bedenin daha da zayıflaması gerektiği" düşüncesini dolaylı olarak destekleyebilir.

Görsel aynı zamanda sorumluluğu bireye yükleyen bir söylem de üretmektedir. Kişinin enjeksiyonu kendi kendine uygulaması, bedenini kontrol etme ve dönüştürme sorumluluğunun kişiye ait olduğu anlamını güçlendirmektedir. Obezitenin genetik, hormonal, psikolojik, ekonomik, çevresel ve toplumsal nedenleri ise kadrajın dışında bırakılmaktadır. Böylece karmaşık bir sağlık sorunu, kişisel tedavi ve beden yönetimi meselesine indirgenmektedir.

2.1.2. Hürriyet Gazetesinde Obezite Haberlerinin Sunumu

Haber 4: "Çocukları Okul Kantinleri Obez Yapıyor"

"Avusturya'nın başkenti Viyana'da, Avrupa Diyabet Çalışmaları Derneği (EASD) tarafından düzenlenen yıllık toplantıda diyabet ve diyabet ile yakından ilişkili olan obezite masaya yatırıldı" (Hürriyet, 2025a).

Şekil 4: Okul kantinlerinin okuyucuya yansıtılması (Kaynak: Hürriyet, 23.09.2025).

Haber ve Fotoğrafın Analizi:

Görselde öğrencilerin gerçekte hangi ürünleri satın aldıkları açık biçimde görülmediği için onların sağlıksız beslendiklerine yönelik bir çıkarım yapmak doğru değildir. Haberde, Türkiye'deki çocuklarda obezitenin artışı okul kantinlerinde satılan gıdalardan kaynaklandığı vurgulanmıştır. Ayrıca *"obezitenin Türkiye'de en önemli kaynaklarından biri okul kantinleri."* ifadesi ile obezitenin çevresel faktörlerden kaynaklanabileceğini hatırlatılmıştır. Buradaki mesajı güçlendiren asıl unsur haberin görselinde yer almaktadır. Görselde, obeziteyi bireysel

yeme davranışından çok, özellikle çocukları ve gençleri çevreleyen gıda ortamı üzerinden anlamlandırmaya elverişli bir temsil sunulmaktadır. Bir okul kantini ya da toplu tüketim alanında çekildiği anlaşılan görüntüde öğrenciler, kantin görevlisi ve çok sayıda paketli ürün yer almaktadır. Görselin sol tarafını renkli ambalajlara sahip şekerleme, çikolata, bisküvi ve atıştırmalıkların kapladığı görülmektedir. Bu ürünlerin kadrajda geniş bir alan tutması, paketli gıdaların bolluğunu ve kolay erişilebilirliğini görünür hâle getirmektedir. Öğrencilerin bulunduğu alanla ürün raflarının yan yana gösterilmesi ise çocuklar ve gençlerle sağlıksız olarak değerlendirilebilecek gıdalar arasında doğrudan bir ilişki kurmaktadır.

Renkli ambalajlar görselin dikkat çekici unsurlarındandır. Parlak renkler, ürün çeşitliliği ve yoğun teşhir düzeni, bu yiyecekleri cazip, eğlenceli ve tüketilmeye hazır ürünler olarak sunmaktadır. Özellikle genç tüketicilere hitap eden bu görsel düzen, gıda tercihlerinin yalnızca kişisel iradeyle değil, ürünlerin sunumu, kolay erişilebilirliği ve pazarlama teknikleriyle de şekillendiğini düşündürmektedir.

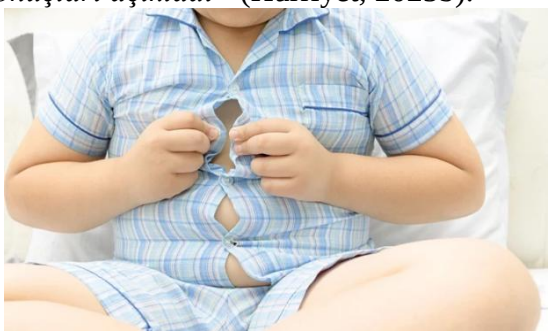
Önceki görsellerden farklı olarak burada belirli bir kişinin bedeni merkeze alınmamakta ve kilolu bir birey gösterilmemektedir. Bu nedenle görsel, obez bireyleri doğrudan teşhir eden veya "tembel", "iradesiz" ve "kontrolsüz" olarak damgalayan açık bir söylem üretmemektedir. Bunun yerine obezite riskini oluşturan çevresel ve kurumsal koşulları görünür kılmaktadır.

Bununla birlikte görsel, haber metnindeki başlık ve ifadelerle birlikte değerlendirildiğinde okul kantinlerinin doğrudan obezitenin faili olarak konumlandırıldığı görülmektedir. Haber başlığında geçen "obez yapıyor" ifadesi, "obezite riskini artırıyor" veya "obeziteyle ilişkilendiriliyor" gibi olasılık bildiren bir ifadelerden farklı olarak kesin ve tartışmasız bir neden-sonuç ilişkisi kurmaktadır. Bu yönüyle başlık çok iddialı ve sansasyonel bir haber söylemidir. Çocuklar ise başlıkta edilgen konuma yerleştirilmekte; kantin ortamının etkisine açık, korunması gereken mağdurlar olarak temsil edilmektedir.

Kantinin kalabalık oluşu ve öğrencilerin sırada beklemesi, buradaki tüketimin istisnai değil, gündelik ve normalleştirilmiş bir davranış olduğunu düşündürmekte, paketli ürünler okul yaşamının olağan bir parçası olarak sunulmaktadır. Bu görselde sağlıklı alternatiflerin yeterince görünür olmaması, kamuoyunda okul kantinini bütünüyle sağlıksız gıdaların satıldığı bir alan gibi genelleştirme riskini güçlendirmektedir.

Haber 5: "Obez Ailenin Çocuğu Da Obez Oluyor"

"Obezitenin genetik bir miras olduğunu belirten Prof. Dr. Dilek Yazıcı uyarıyor: "Hem anne hem babasında obezite olan çocuğun, obez olma olasılığı yüzde 70'e çıkıyor." Türkiye'de yüksek 'Vücut Kitle Endeksine' sahip yetişkin sayısının Dünya Obezite Atlası'na göre 2030 yılına kadar 47,4 milyona ulaşacağı öngörülüyor. Türkiye Obezite Araştırma Derneği Başkan Yardımcısı ve Endokrinoloji ve Metabolizma Hastalıkları Uzmanı Prof. Dr. Dilek Yazıcı obeziteye dair son rakamları paylaştı ve obezitenin hem ekonomik hem sağlık hem de sosyal açıdan ortaya çıkardığı sonuçları açıkladı" (Hürriyet, 2025b).



Şekil 5: Obez çocuğun okuyucuya yansıtılması (Kaynak: Hürriyet, 27.06.2025).

Haber ve Fotoğrafın Analizi:
Başlık, haber metni ve fotoğraf birlikte değerlendirildiğinde obezite; aileden çocuğa aktarılan, bedende görünür hâle gelen ve gelecekte toplumsal bir soruna dönüşecek genetik bir risk olarak çerçevelenmektedir. Bununla birlikte, fotoğrafta obezitenin kapsamlı yapısını genetik mirasa indirgeme ve çocuğun bedenini damgalayıcı biçimde sergileme riski taşımaktadır. Haberdeki "Obez Ailenin Çocuğu da Obez Oluyor" başlığı, kesinlik bildiren bir neden-sonuç ilişkisi kurmaktadır. "Olabilir", "risk taşır" veya "olasılığı artar" yerine "oluyor" ifadesi, obez ebeveynlerin çocuklarının kaçınılmaz biçimde obez olacağı izlenimini güçlendirmektedir.
Fotoğrafta yatak veya koltuk üzerinde oturan, pijamalı bir çocuk görülmektedir. Çocuğun yüzü kadrajın dışında bırakılmış; gövdesi, kolları ve bacakları ön plana çıkarılmıştır. Çocuk, dar gelen gömleğinin ön kısmını iki eliyle çekiştirmekte; düğmeler arasından karın bölgesi görünmektedir. Fotoğrafın merkezinde çocuğun kişiliği veya duyguları değil, bedeninin hacmi ve giysisine sığmaması öne çıkarılmıştır. Bu tercih, çocuğun kilolu olduğuna ilişkin görsel kanıt üretme amacı taşımaktadır. Ancak yalnızca bir fotoğraftan yol bakılarak çocuğun tıbbi olarak obez olduğu sonucuna varılmamalıdır. Obezite değerlendirmesi çocuklarda yaşa ve cinsiyete göre düzenlenen ölçümler ile sağlık uzmanlarının değerlendirmesini gerektirir.
Dar gelen ve düğmeleri kapanmayan gömlek, çocuğun bedeninin "normal" kabul edilen ölçülere sığmadığı anlamını üretmektedir. Giysinin açılması, obezitenin gizlenemeyen ve dışarıdan hemen fark edilen bir durum olduğu düşüncesini güçlendirmekte, böylece beden, obezitenin görünür sonucu olarak gösterilmektedir. Fotoğrafta çocuğun yüzünün gösterilmemesi mahremiyetini kısmen koruyor gibi görünse de, onu kimliği, duyguları ve yaşam öyküsü bulunan bir birey olmaktan çıkarmaktadır. Bu haliyle çocuk, yalnızca karın bölgesi ve beden ölçüsü üzerinden temsil edilen anonim bir "obez çocuk" figürüne indirgenmektedir. Bu parçalı beden sunumu, medyada obez bireylerin yüzleri yerine karınlarının, bel çevrelerinin veya dar gelen kıyafetlerinin gösterildiği yaygın temsil kalıbıyla örtüşmektedir.

2.1.3. Sabah Gazetesinde Obezite Haberlerinin Sunumu

Haber 6: "Büyük Tehlike! 2050'de 746 Milyon Çocuk Obez Olabilir"
"Düzensiz beslenme ve hareketsizlik nedeniyle toplumda hızla yayılan obezite, çocuklarda da salgına dönüştü. 2050'de 5-19 yaş arasındaki çocuklarda obezite rakamlarının dünyada 746 milyona, ülkemizde ise en az 3,4 milyona ulaşabileceği tahmin ediliyor" (Sabah, 2025a).

Şekil 6: Tartılan çocuk figürü (Kaynak: Sabah, 26.11.2025).

Haber ve Fotoğrafın Analizi:
Haber başlığı, haber metni ve fotoğraf birlikte baktığımızda, çocukluk çağı obezitesi; hızla yayılan, gelecekte çok büyük boyutlara ulaşacak ve acil önlem alınmasını gerektiren küresel bir tehlike olarak gösterilmektedir. Haberde risk, salgın ve sayısal büyüklük söylemi bir araya getirilirken fotoğraf, bu tehdidi çocuk bedeni üzerinden somutlaştırmaktadır.
Fotoğrafta bir çocuğun yalnızca ayakları ve bacaklarının alt bölümü, mekanik bir tartının

üzerinde görülmektedir. Çocuğun yüzü ve bedeninin geri kalanı kadraj dışında bırakılmıştır. Tartının gösterge bölümü ise görüntünün merkezine yerleştirilmiştir. Burada tartı; kilo, ölçüm, kontrol ve tıbbi değerlendirme gibi anlamlara gelmektedir. Çocuğun bedeninin tartı üzerindeki bir sayıya indirgenmesi, obeziteyi öncelikle vücut ağırlığı üzerinden tanımlayan bir söyleme indirgemektedir. Çocuğun duyguları, günlük yaşamı ve toplumsal çevresi göz ardı edilmekte, sadece kilosu temel kimlik göstergesi hâline gelmektedir. Fotoğrafta tartının ibresi veya ölçüm sonucu açık biçimde okunmamasına rağmen çocuğun gerçekten obez olduğuna ilişkin görüş oldukça güçlüdür. Çocuğun ayak ve bacaklarının yakın planda gösterilmesi, onun kilolu olduğuna ilişkin güçlü bir ipucu taşımaktadır. Tüm bu belirsiz görüntü bütün olarak "obez çocuk" temsiline dönüşmekte, obez olma nedenleri, çocuğun yaşadığı beslenme ortamı olayın dışında bırakılmaktadır.

Çocuk, fotoğrafta etkin bir özne değildir; tartının üzerinde değerlendirilen ve hakkında karar verilen pasif bir nesne olarak konumlandırılmıştır. Çocuğun yüzünün gösterilmemesi, mahremiyetin korunması bakımından olumlu görülebilir. Ancak yalnızca ayaklarının ve tartının gösterilmesi, çocuğu kimliği ve kişiliği olan bir birey olmaktan çıkararak, sayısal olarak ölçülen bir bedene dönüştürmektedir. Bu parçalı sunum, obezite haberlerinde sıkça karşılaşılan "yüzsüz beden" temsilinin bir örneğidir.

Haber 7: *"Obezite Tedavisine Elektronik Takip"*

"Sağlık Bakanlığı obezite tedavisinde hasta güvenliğini güçlendirmek amacıyla obezite cerrahisinden önce tedavide 'önce diyet, yaşam tarzı değişikliği ve medikal tedavi' yaklaşımını tüm merkezlerde zorunlu hale getirdi. Ayrıca tüm tedavi süreçleri elektronik kayıt sistemi üzerinden izlenecek" (Sabah, 2025b).

Şekil 7: Obezite tedavisinde elektronik takip için tıbbi operasyon (Kaynak: Sabah, 13.11.2025).

Haber ve Fotoğrafın Analizi:

Başlık, haber metni ve fotoğraf birlikte değerlendirildiğinde obezite; devlet tarafından düzenlenmesi, aşamalı biçimde tedavi edilmesi ve dijital sistemlerle izlenmesi gereken tıbbi bir sorun olarak gösterilmiştir. Haber, hasta güvenliğini öne çıkaran kamusal bir düzenleme söylemini öne çıkarırken, kullanılan ameliyat fotoğrafı, obezite cerrahisini haberin en görünür ve dramatik unsuru hâline getirmektedir.

Fotoğrafta ameliyathane ortamında gerçekleştirilen kapalı bir cerrahi operasyon görülmektedir. Sağlık çalışanları, karın bölgesine yerleştirilen cerrahi aletlerle müdahalede bulunmaktadır. Hastanın yüzü ve kimliği görünmemekte; operasyon bölgesi ise bulanıklaştırılarak gösterilmektedir. Bu görsel doğrudan elektronik kayıt sistemini, diyet uygulamasını, yaşam tarzı değişikliğini veya medikal tedaviyi değil obezite cerrahisini göstermektedir. Dolayısıyla haberin asıl konusu tedavinin aşamalı biçimde düzenlenmesi ve elektronik ortamda izlenmesi olduğu hâlde görsel, cerrahi müdahaleyi ön plana çıkarmaktadır. Ameliyathaneden alınan bu görsel, cerrahi araçlar, eldivenler ve steril örtüler; uzmanlık, bilim, teknoloji ve tıbbi otoriteyi

temsil etmekte, obezitenin profesyonel müdahale gerektiren ciddi bir hastalık olduğu düşüncesini güçlendirmektedir. Obezite böylece sosyal, çevresel ve ekonomik boyutları bulunan bir sağlık sorunu değil, tedavisi ancak tıbbi yollarla hastane ortamında yapılabilecek bedensel bir probleme indirgenmektedir. Görsel sürecin son ve en müdahaleci aşaması olan ameliyatı merkeze almaktadır. Buna paralel olarak haber metninde "tüm sağlık merkezlerinde zorunlu hale getirildi" ifadesi tek çıkış yolunun cerrahi müdahale olduğuna dair algıyı güçlendirmektedir.

Diğer haber görsellerinde olduğu gibi bunda da hastanın yüzünün gösterilmemesi ve yalnızca karın bölgesinin kadraja alınması, haberi okuyan kişide hastayı obeziteye götüren temel sebeplere değil hastalığın doğrudan sonucuna götürmektedir. Bununla birlikte görselde bulanıklaştırılan alan, izleyicinin dikkatini operasyon bölgesine daha fazla yönelterek cerrahinin dramatik ve merak uyandırıcı niteliğini de artırmaktadır.

2.1.4. Milliyet Gazetesinde Obezite Haberlerinin Sunumu

Haber 8: Obeziteyi Masa Başında Yenin!

"Spor salonuna gitmeye vakti olmayanlar için formda kalmak masa başında bile mümkün. Gün içine serpiştirilen 1–2 dakikalık mikro egzersizler, kas hafızasını canlandırarak metabolizmayı hızlandırıyor ve obeziteyle mücadelede etkili bir başlangıç sağlıyor" (Milliyet, 2025a).

Şekil 8: Egzersiz yapan bir kadın (Kaynak: Milliyet, 23.08.2025).

Haber ve Fotoğrafın Analizi:

Haberin başlığı, okuyucuyu masa başında obeziteyi "yenmeye" çağırmaktadır. Haber metni ise1–2 dakikalık mikro egzersizleri uygulanabilir çözüm olarak sunmaktadır. Fotoğraftaki İnce ve hareketli kadın bedeni ise önerilen davranışın olumlu sonucunu veya toplumda ideal olanı temsil etmektedir. Haber görselinde obezite gündelik çalışma düzeni içerisinde kısa egzersizlerle kontrol altına alınabilecek ve bireysel çabayla "yenilebilecek" bir sorun olarak çerçevelenmektedir. Haber, egzersizi erişilebilir ve uygulanabilir göstermesi bakımından olumlu bir sağlık mesajı verirken, obezitenin çok boyutlu nedenlerini basitleştirmektedir.

Fotoğrafta ofis ortamında bulunan bir kadın görülmektedir. Kadın, çalışma masasının yanında ayakta durarak dizini karnına doğru çekmekte ve elleriyle tutmaktadır. Masanın üzerinde açık bir bilgisayar ile ofis malzemeleri yer almaktadır. Arka plandaki geniş pencere ve beyaz tonlar, aydınlık ve düzenli bir çalışma ortamı oluşturmaktadır. Görsel, metindeki "masa başında mikro egzersiz" önerisini doğrudan desteklemektedir. Spor salonu veya özel bir egzersiz ekipmanı bulunmaması, hareketin iş ortamında ve gündelik kıyafetlerle yapılabileceğini göstermektedir. Böylece egzersiz kolay, masrafsız ve erişilebilir bir uygulama olarak sunulmaktadır.

Fotoğraftaki kadın ince, genç, bakımlı ve profesyonel görünümlü bir bedenle temsil edilmektedir. Haberin konusu obezite olmasına rağmen, görselde obeziteyle yaşayan bir bireye yer verilmemiştir. Bunun yerine "formda" kabul edilen bir beden, ulaşılması veya korunması gereken ideal olarak sunulmaktadır.

Bu tercih önceki obezite görsellerinden daha olumlu değerlendirilebilir. Obez bireylerin

tamamen görünmez kılınmasına karşın ince bedenin yüz görünecek şekilde açıkça gösteriliyor olması önemlidir. Burada zayıflığın ve ince bedenin toplumumuzda kabul gören genel bir anlayış olduğu görülmekte, bu şekilde gösterilen bir birey sağlıklı özne olarak temsil edilmesine yol açmaktadır.

Bu görselde kadının bedeni hareketli, kontrollü ve disiplinli biçimde gösterilmektedir. Bu temsil; sağlıklı bedeni etkinlik, öz denetim ve üretkenlikle ilişkilendirmektedir. Aslında bu tip bir görüntü obezitenin panzehir gibi gösterilmesine, hareketsiz, kontrolsüz veya yeterli çabayı göstermeyen bedenin toplumda kabul görmeyeceğini ima etmektedir.

Metindeki "spor salonuna gitmeye vakti olmayanlar" ifadesi, yoğun çalışma temposunu başlangıç noktası olarak kabul etmektedir. Fotoğraftaki kadının spor elbisesi yerine resmi kıyafetle gösterilmesi bunun kanıtıdır. Haberle birlikte verilen bu görsel, egzersizin "gün içine serpiştirilmesi", sağlıklı yaşamın çalışma düzenini kesintiye uğratmadan gerçekleştirilmesi gerektiği düşüncesini üretmektedir. Böylece bireyden hem iş yaşamında üretkenliğini sürdürmesi, hem de kısa aralıklarla bedenini yönetmesi beklenmektedir.

Haber 9: "Yaşam Süresini Kısaltıyor! Obezite Türkiye'de Alarm Veriyor"

"Modern çağın salgın hastalığı olarak tanımlanan obezite son yıllarda dünya genelinde hızla yaygınlaşıyor. Gastroenteroloji Uzmanı Prof. Dr. Can Gönen, Türkiye'de alarm veren obezitede en yeni tedavi yöntemlerini anlattı" (Milliyet, 2025b).

Şekil 9: Kilolu bir birey figürü (Kaynak: Milliyet, 10.04.2025).

Haber ve Fotoğrafın Analizi:

Haber ve fotoğrafına baktığımızda obezite modern yaşamla birlikte hızla yayılan, Türkiye açısından alarm düzeyine ulaşan ve uzmanların geliştirdiği yeni yöntemlerle tedavi edilmesi gereken küresel bir sağlık tehdidi olarak çerçevelenmektedir. Metinde salgın, alarm ve yenilik söylemi öne çıkarken görsel, bu soyut sağlık tehdidini karın bölgesinde somutlaştırmaktadır.

Modern çağın salgın hastalığı" ifadesi, obeziteyi bulaşıcı hastalıkların diliyle tanımlamaktadır. "Salgın" metaforu, obezitenin dünya genelinde geniş kitleleri etkilediğini ve hızla arttığını vurgulamak amacıyla kullanılmaktadır. Metindeki "hızla yaygınlaşıyor" ifadesi de bu anlamı güçlendirmektedir. Obezite bulaşıcı bir hastalık olmadığı hâlde haberde kullanılan "salgın" söylemi, sorunu toplumun tamamını tehdit eden ve kontrol altına alınması gereken bir tehlike olarak konumlandırmaktadır. Bu kullanım kamusal farkındalığı artırabilir; ancak obeziteyle yaşayan bireyler üzerinde korku, dışlama ve kilo alma gibi olumsuz düşüncelere yol açma riski doğurabilir. "Modern çağ" ifadesi ise obeziteyi günümüz yaşam biçiminin bir sonucu olarak sunmaktadır. Hareketsiz yaşam, işlenmiş gıda tüketimi, kentleşme, yoğun çalışma koşulları ve teknolojik değişim gibi etkenler bu ifadenin bir sebebi gibi görülmektedir. Ancak metinde modern yaşamın hangi özelliklerinin obeziteyle ilişkili olduğu doğrudan açıklanmadığı için kavram genel ve belirsiz bırakılmaktadır.

Haberin fotoğrafında bir kişinin yalnızca gövdesi ve elleri görülmektedir. Kişinin yüzünün gösterilmemesi, onu duyguları, düşünceleri ve toplumsal kimliği bulunan bir özne olmaktan çıkarmaktadır. Kişi, yalnızca karın bölgesi üzerinden tanımlanan anonim bir bedene

dönüştürülmektedir. Bu temsil, obezite haberlerinde sıklıkla kullanılan "başsız obez beden" kalıbının bir örneğidir. Kişi, kıyafetinin üzerinden karın bölgesini iki eliyle kavramakta ve öne doğru sıkıştırmaktadır. Yüz, baş ve bedenin geri kalanı kadraj dışında bırakılmıştır. Karın bölgesi fotoğrafın merkezine yerleştirilmiş ve yakın plan çekimle belirginleştirilmiştir. Kişinin sağlık durumu, kilosu veya tıbbi ölçümleri hakkında herhangi bir bilgi bulunmamasına rağmen, fotoğraf, haber metniyle birlikte "obez beden" olarak okunmaktadır. Böylece karın bölgesindeki yağlanma, obezitenin doğrudan ve yeterli göstergesi gibi sunulmaktadır. Halbuki obezite tanısı yalnızca görsel gözleme veya karın bölgesi görünümüne dayanılarak çıkarılacak bir sonuç değildir.

Haber metninde bir taraftan "salgın" ve "alarm" ifadeleriyle önce korku üretilmekte, hemen ardından gelen metinde "en yeni tedavi yöntemleri" ifadelerinin kullanılması da başta üretilen korkunun çözüm ve umudu olmaktadır. Böylece önce riskin büyüklüğü dramatikleştirilmekte, ardından tıbbi uzmanlık bu riskin çözüm merkezi olarak konumlandırılmaktadır.

3. SONUÇ

Bu çalışmada Cumhuriyet, Hürriyet, Sabah ve Milliyet gazetelerinin internet sitelerinde 2025 yılında yayımlanan dokuz obezite haberi, haber metinleri ile görselleri arasındaki anlam ilişkisi dikkate alınarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular, obezitenin haber medyasında yalnızca tıbbi bir hastalık veya halk sağlığı sorunu olarak aktarılmadığını; haber başlıkları, uzman açıklamaları, nedensellik ilişkileri ve görsel tercihler aracılığıyla belirli beden normları ve sorumluluk anlayışları içerisinde yeniden inşa edildiğini göstermektedir.

İncelenen haberlerde en belirgin söylemsel eğilimlerden biri, obezitenin "salgın", "alarm", "büyük tehlike", "yeni tehdit" ve "mücadele edilmesi gereken sorun" gibi ifadelerle çerçevelenmesidir. "Obezite ömrünüzden 10-15 sene çalıyor", "2050'de 746 milyon çocuk obez olabilir" ve "obezite Türkiye'de alarm veriyor" gibi başlıklar, sorunun kamusal önemini görünür hâle getirmekle birlikte korku ve aciliyet duygusu üreten dramatik bir haber söylemi kurmaktadır. Bu söylem, obeziteyi bulaşıcı bir hastalık gibi "yayılan" ve toplumun tamamını tehdit eden bir kriz olarak konumlandırmaktadır. Böylece konuya ilişkin farkındalık oluşturulurken obeziteyle yaşayan bireylerin toplumsal bir riskin taşıyıcıları gibi algılanması ihtimali de ortaya çıkmaktadır.

Haberlerde obezitenin nedenlerine ilişkin bireysel ve sistemik çerçevelerin birlikte bulunduğu, ancak bireysel sorumluluğa dayanan anlatının daha görünür olduğu belirlenmiştir. Aşırı yeme, yüksek kalorili gıda tüketimi, fiziksel hareketsizlik, masa başında çalışma ve bireyin kendi bedenini yeterince denetlememesi, obezitenin başlıca nedenleri olarak sunulmuştur. Koltukta uyuyan kişinin yüksek kalorili yiyeceklerle birlikte gösterilmesi ve mikro egzersizlerin obeziteyi "yenmenin" yolu olarak sunulması, sorumluluğu büyük ölçüde bireyin gündelik tercihlerine yüklemektedir. Bu çerçeve, obeziteyi irade, disiplin ve öz denetim üzerinden açıklayarak genetik yatkınlık, ruhsal durum, çalışma koşulları, ekonomik eşitsizlikler, sağlıklı gıdaya erişim, kentleşme ve gıda politikaları gibi yapısal belirleyicileri geri plana itmektedir.

Bununla birlikte haberlerin tamamının yalnızca bireysel sorumluluk çerçevesine dayanmadığı da görülmüştür. "Çocukları Okul Kantinleri Obez Yapıyor" başlıklı haber, paketli gıdaların erişilebilirliğini ve okul kantinlerinin oluşturduğu beslenme ortamını görünür kılarak çevresel bir açıklama sunmaktadır. Ancak başlıktaki "obez yapıyor" ifadesi, çok faktörlü bir sağlık sorunuyla tek bir çevresel etken arasında kesin bir neden-sonuç ilişkisi kurmaktadır. Benzer biçimde "Obez Ailenin Çocuğu da Obez Oluyor" başlığı, genetik yatkınlığı öne çıkarmasına rağmen olasılık bildiren bilimsel açıklamayı kaçınılmaz bir sonuç şeklinde sunmaktadır. Bu örnekler, haberlerin bireysel çerçeveden uzaklaştıkları durumlarda bile obezitenin karmaşık yapısını tek bir nedene indirgeme eğilimi gösterebildiğini ortaya koymaktadır.

Görsel çözümlemede en dikkat çekici bulgu, obez bireylerin yüzlerinin ve kişisel kimliklerinin çoğunlukla görünmez kılınmasıdır. Karın bölgesinin yakın planda gösterilmesi, tartı üzerindeki ayaklar, düğmeleri kapanmayan giysiler ve yalnızca gövdesi görüntülenen kişiler, obezite haberlerinde tekrarlanan görsel kalıplar olarak belirlenmiştir. Yüzün kadraj dışında bırakılması ilk bakışta mahremiyeti koruyan bir tercih gibi görünse de bireyi duyguları, düşünceleri ve yaşam deneyimleri bulunan bir özne olmaktan uzaklaştırmaktadır. Kişi, bu görsellerde kilosu, karın bölgesi veya tartıdaki değeri üzerinden tanımlanan anonim bir bedene indirgenmektedir.
Özellikle çocuk bedenlerinin parçalı biçimde gösterilmesi, bu temsil sorununun daha hassas bir boyutunu oluşturmaktadır. Dar gelen giysisiyle sunulan çocuk ve tartı üzerinde yalnızca ayakları gösterilen çocuk, kendi yaşamı hakkında söz söyleyen özneler olarak değil, gelecekte büyümesi beklenen sağlık riskinin görsel kanıtları olarak konumlandırılmıştır. Üstelik çocukların tıbbi olarak obez olup olmadığı yalnızca fotoğraflar üzerinden belirlenemeyeceği hâlde haber metinleri, başlıklar ve görseller bir araya gelerek bu bedenleri "obez çocuk" şeklinde kodlamaktadır. Böylece çocuk bedeni, ölçülen, sınıflandırılan ve yetişkinler tarafından denetlenmesi gereken bir nesne hâline getirilmektedir.
Haberlerdeki yiyecek görsellerinin de obezitenin anlamlandırılmasında önemli bir işlev üstlendiği görülmüştür. Hamburger, patates kızartması, şekerli içecek ve paketli atıştırmalık gibi ürünler obezitenin görsel göstergelerine dönüştürülmüştür. Bu ürünlerin obeziteyle doğrudan ilişkilendirilmesi, sorunu kontrolsüz tüketim ve yanlış beslenme davranışı üzerinden açıklamaktadır. Bununla birlikte yiyeceklerin yakın planda, parlak renklerle ve iştah uyandırıcı biçimde sunulması, haberin sağlık uyarısı ile görselin reklam estetiği arasında bir çelişki oluşturmaktadır. Haber metni bu ürünleri bir sağlık tehdidi şeklinde tanımlarken görsel düzenleme onları çekici ve arzu edilebilir tüketim nesneleri olarak gösterebilmektedir.
İncelenen haberlerde obezitenin tıbbileştirilmesi de belirgin bir temsil biçimi olarak ortaya çıkmıştır. Enjeksiyon kalemi, ameliyathane, cerrahi araçlar, uzman açıklamaları ve elektronik takip sistemi; obeziteyi tıbbi gözetim ve profesyonel müdahale gerektiren bir beden sorunu olarak çerçevelemektedir. Özellikle zayıflama iğneleri ve cerrahi operasyonlarla ilgili görseller, bedenin ilaç, teknoloji ve tıp otoritesi aracılığıyla dönüştürülmesi gerektiği düşüncesini güçlendirmektedir. Haberlerde önce "tehlike" ve "alarm" söylemiyle riskin büyütülmesi, ardından uzmanlık ve tedavinin çözüm olarak sunulması, tıbbi otoriteyi haber anlatısının merkezine yerleştirmektedir. Obez birey çoğunlukla hakkında konuşulan ve müdahale edilen bir beden olarak kalırken uzmanlar hastalığı tanımlayan ve çözümü belirleyen bilgi özneleri hâline gelmektedir.
Milliyet'in "Obeziteyi Masa Başında Yenin!" başlıklı haberinde obez bir beden yerine genç, ince, bakımlı ve hareketli bir kadın bedeninin kullanılması, farklı bir görsel karşıtlık üretmektedir. Bu görsel doğrudan damgalayıcı bir obez beden sunmamasına rağmen ince bedeni sağlık, hareket, öz denetim ve üretkenlikle özdeşleştirmektedir. Böylece ince beden ulaşılması veya korunması gereken ideal olarak kurulurken obez beden dolaylı biçimde hareketsizlik ve yetersiz öz denetimle ilişkilendirilmektedir. İnce bedenin yüzü ve kimliğiyle gösterilmesine karşılık büyük bedenlerin çoğunlukla yüzsüz ve parçalanmış biçimde temsil edilmesi, bedenler arasında eşitsiz bir görsel hiyerarşi yaratmaktadır.
Sonuç olarak incelenen internet haberleri, obezite konusunda kamuoyuna bilgi sağlama ve sağlık risklerine ilişkin farkındalık oluşturma işlevi taşımakla birlikte obezitenin çok faktörlü yapısını her zaman yeterince yansıtmamaktadır. Bireysel sorumluluk, dramatikleştirme, tıbbileştirme ve parçalı beden gösterimleri, haberlerde öne çıkan temel temsil kalıplarıdır. Bununla birlikte okul kantinleri ve gıda ortamı gibi çevresel etkenlere yer veren haberler, obezitenin bireysel tercihlere indirgenmeyen alternatif bir çerçevede de sunulabileceğini göstermektedir.

Obezite haberciliğinde bireyleri suçlayan, kimliksizleştiren veya bedenlerini teşhir eden görseller yerine kişileri gündelik hayatları ve toplumsal bağlamları içerisinde, yüzleri ve öznellikleriyle gösteren temsiller tercih edilmelidir. Haberlerde obezitenin biyolojik, psikolojik, ekonomik, çevresel ve politik belirleyicilerine birlikte yer verilmeli; uzman görüşlerinin yanında obeziteyle yaşayan bireylerin deneyimleri de görünür kılınmalıdır. Ayrıca "salgın", "alarm" ve "tehlike" gibi dramatik ifadeler kullanılırken bunların damgalayıcı etkileri dikkate alınmalı; sağlık bilgisi sansasyonel bir anlatıya dönüştürülmemelidir. Böyle bir yaklaşım, obeziteye ilişkin kamusal farkındalığı artırırken bireylerin onurunu ve kişilik haklarını koruyan, kapsayıcı ve damgalamadan uzak bir sağlık haberciliğinin gelişmesine katkı sağlayacaktır.

KAYNAKÇA

Anderson, J., ve Bresnahan, M. (2013). Communicating stigma about body size. Health Communication, 28(6), 603–615. doi:10.1080/10410236. 2012.706792

World Health Organization, "Obesity and Overweight," 8 Aralık 2025, https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight.

Francesco Rubino vd., (2025). "Definition and Diagnostic Criteria of Clinical Obesity," *The Lancet Diabetes & Endocrinology* 13, no. 3, 221–262, https://doi.org/10.1016/S2213-8587(24)00316-4.

Goffman, E. (1963). Stigma: Notes on the management of spoiled identity. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall.

Kim, S.-H., & Willis, L. A. (2007). Talking about obesity: News framing of who is responsible for causing and fixing the problem. *Journal of Health Communication, 12*(4), 359–376. https://doi.org/10.1080/10810730701326051.

Rao, A., Puhl, R., & Farrar, K. (2024). Weight stigma in online news images: A visual content analysis of stigma communication in the depictions of individuals with obesity in U.S. and U.K. news. *Journal of Health Communication, 29*(2), 95–106.

Harold E. Bays vd., (2022), "Obesity Definition, Diagnosis, Bias, Standard Operating Procedures (SOPs), and Telehealth: An Obesity Medicine Association Clinical Practice Statement (CPS) 2022," Obesity Pillars 3, 100023, https://doi.org/10.1016/j.obpill.2022.100023.

Heuer, C. A., McClure, K. J., & Puhl, R. M. (2011). Obesity stigma in online news: A visual content analysis. *Journal of Health Communication, 16*(9), 976–987.

Lawrence, R. G. (2004). Framing obesity: The evolution of news discourse on a public health issue. *The Harvard International Journal of Press/Politics, 9*(3), 56–75. https://doi.org/10.1177/1081180X04266581.

Puhl, R. M., Peterson, J. L., DePierre, J. A., & Luedicke, J. (2013). Headless, hungry, and unhealthy: A video content analysis of obese persons portrayed in online news. *Journal of Health Communication, 18*(6), 686–702. https://doi.org/10.1080/10810730.2012.743631.

Cumhuriyet. (2025a). "Uzmanı Açıkladı: Obezite Ömrünüzden 10-15 Sene Çalıyor!" (Erişim Tarihi: 15.11.2025). https://www.cumhuriyet.com.tr/saglik/uzmani-acikladi-obezite-omrunuzden-10-15-sene-caliyor-2308265

Cumhuriyet. (2025b). Obezite ve Yeme Bozuklukları İçin Yeni Tehdit: 'Mukbang' Akımı. (Erişim Tarihi: 27.07.2026). https://www.cumhuriyet.com.tr/saglik/obezite-ve-yeme-bozukluklari-icin-yeni-tehdit-mukbang-akimi-2299702.

Cumhuriyet. (2025c). Uzmanlar sağlıklı kişilerin estetik amaçlı bilinçsizce kullanımına karşı uyardı: Reçetesiz zayıflama iğneleri tehlike saçıyor. (Erişim Tarihi: 30.07.2026). https://www.cumhuriyet.com.tr/saglik/uzmanlar-saglikli-kisilerin-estetik-amacli-bilincsizce-kullanimina-karsi-uyardi-recetesiz-zayiflama-igneleri-tehlike-saciyor-2415316.

Hürriyet. (2025c). Bebek Mamaları Obeziteye Davetiye Çıkarıyor Olabilir mi?. (Erişim Tarihi: 30.07.2026). https://www.hurriyet.com.tr/mahmure/yazarlar/selin-irmak-kacmaz/bebek-mamalari-obeziteye-davetiye-cikariyor-olabilir-mi-42898087.
Hürriyet. (2025a). "Çocukları Okul Kantinleri Obez Yapıyor". (Erişim Tarihi: 16.11.2025). https://www.hurriyet.com.tr/gundem/cocuklari-okul-kantinleri-obez-yapiyor-42958020.
Hürriyet. (2025b). "Obez Ailenin Çocuğu Da Obez Oluyor". (Erişim Tarihi: 20.11.2025). https://www.hurriyet.com.tr/gundem/obez-ailenin-cocugu-da-obez-oluyor-42855210.
Milliyet. (2025a). Obeziteyi Masa Başında Yenin! (Erişim Tarihi: 28.07.2026). https://www.milliyet.com.tr/ege/obeziteyi-masa-basinda-yenin-7431781.
Milliyet. (2025b). Yaşam Süresini Kısaltıyor! Obezite Türkiye'de Alarm Veriyor. (Erişim Tarihi: 29.07.2026). https://www.milliyet.com.tr/pembenar/yasam-suresini-kisaltiyor-obezite-turkiyede-alarm-veriyor-7348048.
Sabah. (2025a). "Büyük Tehlike! 2050'de 746 Milyon Çocuk Obez Olabilir". (Erişim Tarihi: 10.12.2025). https://www.sabah.com.tr/saglik/2025/11/26/buyuk-tehlike-2050de-746-milyon-cocuk-obez-olabilir.
Sabah. (2025b). "Obezite Tedavisine Elektronik Takip". (Erişim Tarihi: 27.07.2026). https://www.sabah.com.tr/saglik/2025/11/13/obezite-tedavisine-elektronik-takip.

YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ HABER ÜRETİMİNİN TÜRK ANAYASA HUKUKU BAKIMINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ: BASIN ÖZGÜRLÜĞÜ, YANLIŞ BİLGİ VE KİŞİLİK HAKLARI

Dr. Öğr. Üyesi Faruk AŞLAKCI
Karabuk University, Faculty of Communication, Department of Journalism, 78600 Safranbolu/Karabük
ORCID: 0000-0001-8711-3558
Öğr. Gör. Necmiye MAZLUM
Artvin Coruh University, Artvin
ORCID: 0000-0001-5871-387X

ÖZET
Yapay zekâ teknolojilerinin haber üretim süreçlerinde kullanılması, medya kuruluşlarına hız, verimlilik ve maliyet avantajı sağlarken; yanlış haber, yetersiz editoryal denetim, kişilik hakları ve yayıncı sorumluluğu bakımından yeni hukuki sorunlar ortaya çıkarmaktadır. Bu çalışmanın amacı, yapay zekâ destekli haber üretiminin yol açtığı hukuki riskleri Türk anayasa hukuku çerçevesinde değerlendirmektir. Çalışmada nitel araştırma yaklaşımı benimsenmiş ve amaçlı olarak seçilen beş örnek olay incelenmiştir. Bu kapsamda CNET'in yapay zekâ üretimi ekonomi yazıları, Gannett'in otomatik spor haberleri, Sports Illustrated'da kullanılan gerçekliği doğrulanamayan yazar profilleri, Microsoft Start tarafından bir ölüm haberine eklenen yapay zekâ üretimi anket ve Chicago Sun-Times'ın gerçekte var olmayan kitaplara yer veren okuma listesi incelenmiştir. Olaylar; Türkiye Cumhuriyeti Anayasası'nın ifade ve basın özgürlüğüne ilişkin hükümleri, 5187 sayılı Basın Kanunu, Anayasa Mahkemesi içtihadı ve Avrupa İnsan Hakları Mahkemesi kararlarında geliştirilen ölçütler doğrultusunda normatif hukuk yöntemiyle değerlendirilmiştir. İnceleme sonucunda, yapay zekâ aracılığıyla hazırlanan haberlerin, bu içerikleri kullanan ve yayımlayan gerçek veya tüzel kişiler yönünden ifade ve basın özgürlüğünün koruma alanında değerlendirilebileceği; ancak bu korumanın yayın kuruluşlarının doğrulama, editoryal denetim ve kişilik haklarına saygı yükümlülüklerini ortadan kaldırmadığı belirlenmiştir. Yapay zekânın haber üretiminde içeriği hatalı biçimde hazırlaması, medya kuruluşunun sorumluluğunu ortadan kaldırmamaktadır. Yapay zekâ destekli gazetecilikte, kullanılan teknolojiden ziyade, içeriğin niteliğine, kamu yararına, haberin yayımlanma biçimi ve kişiler üzerindeki etkisine dikkat etmek gerektiği sonucuna varılmış, bunların karşılanmaması durumunda meydana gelecek zararda hukuki işlemlerin nasıl olması gerektiğine yönelik bir vizyon sunulmuştur.
Anahtar Kelimeler: Yapay zekâ, gazetecilik, basın özgürlüğü, yanlış bilgi, kişilik hakları, editoryal sorumluluk.

AN EVALUATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE-ASSISTED NEWS PRODUCTION FROM THE PERSPECTIVE OF TURKISH CONSTITUTIONAL LAW: FREEDOM OF THE PRESS, MISINFORMATION, AND PERSONAL RIGHTS

ABSTRACT
The use of artificial intelligence technologies in news production processes offers media organizations advantages in terms of speed, efficiency, and cost, while also giving rise to new legal issues concerning false news, inadequate editorial oversight, personality rights, and publisher liability. This study aims to evaluate the legal risks arising from AI-assisted news production within the framework of Turkish constitutional law. Adopting a qualitative research

approach, the study examines five purposively selected cases. These cases include CNET's AI-generated financial articles, Gannett's automated sports reports, the unverifiable author profiles used by Sports Illustrated, an AI-generated poll added by Microsoft Start to a news report concerning a death, and the Chicago Sun-Times reading list featuring books that did not actually exist. The cases were assessed using the normative legal method in light of the provisions of the Constitution of the Republic of Türkiye concerning freedom of expression and freedom of the press, Press Law No. 5187, the case law of the Turkish Constitutional Court, and the criteria developed in the judgments of the European Court of Human Rights. The findings indicate that news content prepared with the assistance of artificial intelligence may fall within the scope of freedom of expression and freedom of the press with respect to the natural or legal persons who use and publish such content. However, this protection does not relieve media organizations of their obligations to verify information, exercise editorial oversight, and respect personality rights. The inaccurate preparation of news content by artificial intelligence does not eliminate the responsibility of the media organization. The study concludes that the legal assessment of AI-assisted journalism should focus not primarily on the technology employed, but on the nature of the content, its contribution to the public interest, the manner in which the news is published, and its impact on individuals. It also offers a framework for determining the legal measures that should be taken when failure to meet these standards results in harm.
Keywords: Artificial intelligence, journalism, freedom of the press, misinformation, personality rights, editorial responsibility.

1. GİRİŞ

Yapay zekâyı gazetecilik alanında değerlendirdiğimizde medya ve kamusal yaşamın dijitalleşmesi çerçevesinde geniş bir bağlam içinde ele almalıyız. Yapay zekanın algoritmalara, sosyal medyaya ve benzeri teknolojilere geçişiyle birlikte iş modellerinin geleneksel yapısı zayıflamış, çalışma rutinleri değişmiş ve bilginin hızlı akışıyla birlikte çok sayıda yeni bilginin üretilmesi için fırsat doğmuştur. Bilginin böylesine hızlı biçimde yeniden üretilmesi kurumsal bir yapı olarak gazeteciliği de dönüştürmüştür. Bu anlamda yapay zekâ teknolojileri, kısa, orta veya uzun vadede ne ölçüde dönüştürücü olursa olsun, gazeteciliğin daha geniş yeniden yapılanma sürecinin bir parçası haline gelmiştir (Carlson, 2015; Broussard vd., 2019). Yapay zeka aracılığıyla otomatik üretilen haber içerikleri, yapılandırılmış verilerden çok sayıda haberin hızlı ve düşük maliyetle hazırlanmasına kadar geniş bir alanda imkân sağlamaktadır. Bu sistemler veriye dayalı alanlarda haber üretim kapasitesini artırırken gazetecilerin rutin iş yükünün azalmasına da katkıda bulunabilmektedir. Buna karşın otomasyonun sağladığı hız ve ölçek, haberin doğruluğunu ve niteliğini kendiliğinden güvence altına almamaktadır (Graefe, 2016).

Yapay zekânın haber yazımı ve içerik üretiminde giderek daha fazla kullanımı, insan editoryal denetiminin önemini ortadan kaldırmamakta; aksine haberin doğrulanması, bağlama yerleştirilmesi ve kamuoyuna sunulmasında sorumluluğun yeniden tanımlanmasını gerekli kılmaktadır (Sonni vd., 2024). Yapay zeka teknolojisinden faydalanarak yapılan haberlerde, yayıncı kuruluşun editoryal denetim yükümlülüğü kendiliğinden ortadan kalkmamaktadır. Çünkü nihai olarak yapay zekâ tarafından oluşturulan içeriğin yayımlanmasına veya dolaşıma sokulmasına ilişkin son karar, gazeteci, editör ya da medya kuruluşu üst düzey temsilcileri tarafından verilmektedir. Bu nedenle yapay zekâ destekli haber üretiminin hukuki bakımdan değerlendirilmesinde kullanılan teknolojiden çok, ortaya çıkan içeriğin sonuçları, yayımlanma biçimi ve kamuoyu üzerindeki etkisi öne çıkmaktadır.

Yapay zekâ aracılığıyla üretilen haber içeriklerini üreten, kullanan ve yayımlayan gerçek veya tüzel kişiler de ifade ve basın özgürlüğü kapsamında değerlendirilebilir (Dost, 2023, s. 304).

İfade ve basın özgürlüğünün sınırsız olmaması, kişilik hakları, insan onuru, özel hayat, şeref ve itibarın korunması gibi hukuki değerler söz konusu olduğunda adil bir dengenin kurulmasını gerekli kılmaktadır. Özellikle doğruluğu denetlenebilen gerçek bilgilerin yanlış aktarılması, gerçek kişilere ait olmayan bilgi ve ifadelerin gerçekmiş gibi atfedilmesi, sahte yazar kimliklerinin gerçekmiş gibi sunulması, ölüm gibi hassas olayların etkileşim uğruna dramatik hale getirilmesi, yapay zeka ile oluşturulan haberlerde basın özgürlüğünün sınırlarının yeniden tartışılmasına neden olmaktadır. Burada üzerinde durulması gereken önemli noktalardan biri, yapay zekâ kullanarak üretilen içeriklerin doğrudan sınırlandırılması ya da yasaklanması değil; haber ve bilgiyi yayma özgürlüğü korunurken, güvenilir bilgi sunma, kişilik haklarına saygı gösterme ve sağlıklı editoryal denetim sağlama yükümlülüklerinin nasıl yerine getirileceğinin gözden geçirilmesidir.

Bu çalışmanın amacı, yapay zekâ destekli haber üretiminde ortaya çıkan yanlış bilgi, yetersiz editoryal denetim, kaynak ve yazar kimliğine ilişkin hatalı içerikler ile kişilik haklarına yönelik riskleri Türk anayasa hukuku bakımından değerlendirmektir. Bu amaç doğrultusunda CNET'in yapay zekâ tarafından hazırlanan ekonomi yazıları, Gannett'in otomatik spor haberleri, Sports Illustrated'da kullanılan gerçekliği doğrulanamayan yazar profilleri, Microsoft Start tarafından bir ölüm haberine eklenen yapay zekâ üretimi anketi ile Chicago Sun-Times'ın gerçekte var olmayan kitaplara yer veren okuma listesi incelenmiştir. Söz konusu örnekler, yapay zekâ destekli haber içeriği üretiminde ortaya çıkabilecek farklı hukuki riskleri somutlaştırması açısından önemlidir.

İncelenen olayların büyük bölümü Amerika Birleşik Devletleri'nde, biri ise Birleşik Krallık merkezli bir yayın kuruluşunun içeriğinin Microsoft Start platformunda yeniden yayımlanması sırasında meydana gelmiştir. Bununla birlikte çalışma, bu olayların gerçekleştikleri ülkelerin hukuk sistemlerine göre hangi hukuki sonuçları doğurduğunu belirlemeyi amaçlamamıştır. Örnek olaylar, yapay zekâ destekli gazeteciliğin ortaya çıkardığı ortak sorunları görünür kılan örnekler olarak ele alınmıştır. Çalışmanın temel sorusu, benzer uygulamaların Türkiye'de gerçekleşmesi durumunda ifade ve basın özgürlüğü, yanlış bilgi, kişilik hakları ve yayıncı sorumluluğu bağlamında hangi anayasal ölçütlerin gündeme geleceğidir. Bu nedenle hukuki değerlendirme, Türkiye Cumhuriyeti Anayasası, 5187 sayılı Basın Kanunu, Anayasa Mahkemesi içtihadı ve gerektiği ölçüde Avrupa İnsan Hakları Mahkemesi kararları çerçevesinde gerçekleştirilmektedir.

Çalışmada nitel araştırma yaklaşımı benimsenmiş; amaçlı olarak seçilen beş örnek olay ele alınmıştır. Öncelikle çalışma; olayın gelişimi, yapay zekânın içerik üretimindeki rolü, ortaya çıkan hata veya ihlal riski ve yayın kuruluşunun tepkisi bakımından betimlenmiştir. Ardından belirlenen sorunlar; basın özgürlüğü, maddi olgu ile değer yargısı ayrımı, kamu yararı, kişilik haklarının korunması, editoryal denetim ve haklar arasında adil denge ölçütleri üzerinden normatif hukuk yöntemiyle değerlendirilmiştir. Bu değerlendirme, incelenen yabancı olaylarda Türk hukukuna göre kesin bir ihlal veya sorumluluk tespiti yapmayı değil, benzer olaylarda gündeme gelebilecek anayasal hak ve ölçütleri belirlemeyi amaçlamaktadır. Böylece çalışma, yapay zekâ destekli haberlerin anayasal alandaki yerini belirlemeyi, bunun yanında yapay zeka ile üretilen haber içeriklerinin yayımlanmasında medya kuruluşlarının taşıdığı editoryal ve hukuki sorumluluğu ortaya koymayı amaçlamaktadır.

2. BULGULAR

Olay	Temel problem	İncelenecek anayasal sorun ve ölçütler
CNET'in YZ üretimi ekonomi yazıları	Olgusal ve matematiksel hatalar	Basın özgürlüğü, maddi olguların doğrulanabilirliği, olgusal temel ve kamu yararı
Gannett'in otomatik spor haberleri	Hatalı ve mekanik anlatım	Basın özgürlüğü, haberin aktarılma biçimi, olgusal doğruluk ve editoryal denetim
Sports Illustrated'ın sahte yazar profilleri	YZ görselleri ve gerçek olmayan yazar kimlikleri	Basın özgürlüğü, haber alma serbestliği, kaynak şeffaflığı ve varsa kişilerin manevi varlığının korunması
Microsoft Start–Guardian vakası	Ölüm haberine eklenen uygunsuz YZ anketi	Basın özgürlüğü, insan onuru, manevi varlığın korunması, kamu yararı ve haklar arasında adil denge
Chicago Sun-Times kitap listesi	Var olmayan kitapların gerçek yazarlara atfedilmesi	Basın özgürlüğü, şeref ve itibarın korunması, maddi olgu–değer yargısı ayrımı ve olgusal temel

Tablo 1. Yapay Zekâ Destekli Haberler ve Ortaya Çıkardığı Hukuki Sorunlar

Haber 1. CNET Örneği

Amerika'da genellikle teknoloji, finans ve ekonomi haberleri üreten medya sitesi CNET, 2022'nin sonlarından itibaren ekonomi haberlerinde hatalı bilgiler tespit edilmiş, ardından bu haberleri yapay zekâ aracılığıyla yazdırdığının ortaya çıkmasıyla kamuoyunda sektörel tartışma yaratmıştır (NewsLabTurkey, 2023). Kamuoyunda gündeme gelen tartışmalar, CNET'in okuyucularına haber vermeden pek çok finansal rehber ve makale ürettirmesi ve haberlerdeki matematiksel hatalardan oluşmaktadır.

"Yıllık %3 faiz oranıyla bileşik faiz kazandıran bir tasarruf hesabına 10.000 dolar yatırırsanız, ilk yılın sonunda 10.300 dolar kazanmış olursunuz"(Christian, 2023).

Haberin yayımlanmasının ardından içeriklerde hata ve eksik bilgi görülmesi üzerine site, yayımladığı pek çok haberi ya silmek ya da düzeltmek zorunda kalmıştır. Kamuoyundan gelen tepkilerle birlikte, CNET baş editörü Connie Guglielmo, CNET'in 'şeffaf olma' konusundaki itibarıyla ilgili kaleme aldığı bir yazısında yapay zekâ tarafından yazılan haberleri kabul etmiş, sistemin muhabirlerin yerini almasını değil, çalışmalarına yardımcı olmasını amaçladıklarını dile getirmiştir (NewsLabTurkey ve CBSNews, 2023). Konuyla ilgili Dublin College Üniversitesi İşletme Fakültesi'nde finans profesörü olan Michael Dowling, yapay zeka tarafından oluşturulan bu haberin doğruluktan uzak olduğunu, 10.000 dolarlık bir yatırımın bir yılda 10.300 dolar kazandırabileceğini iddia etmesi, yani 1 yılda anapara kadar faiz kazandırdığını söylemenin okuyucuya gerçekçi olmayan beklentiler sunduğunu belirtmiştir (Christian, 2023).

Haber 2. Gannett Örneği

Gannett, merkezi ABD'nin birçok eyaletinde çok sayıda yerel gazete ve medya kuruluşuna sahip büyük bir medya şirketidir. Gannett şirketi 2023'te yayımladığı bir yerel spor haberinde yapay zekâ aracıyla yazdığı haberde hatalı ve eksik bilgiler bulunması nedeniyle yapay zeka ile haber yazmayı durdurulduğu bildirmiştir (RiskYZ, 2023).

"Worthington Christian [[KAZANAN_TAKIM_MASKOTU]], Cumartesi günü oynanan Ohio erkekler futbol karşılaşmasında Westerville North [[KAYBEDEN_TAKIM_MASKOTU]]

takımını 2-1 mağlup etti."

Tespit edilen hatalar arasında, metin şablonlarında yer alan "[[KAZANAN_TAKIM_MASKOTU]]" ve "[[KAYBEDEN_TAKIM_MASKOTU]]" gibi kodlanmış yer tutucuların gerçek isimlerle doldurulmadan yayımlanması ve aynı tarihlerin metin içinde defalarca tekrarlanması okuyucuların tepkisine yol açmıştır. Ayrıca haber metninde geçen 'zahmetsiz galibiyet' gibi doğal olmayan veya bağlam dışı ifadelerin kullanılması, şirketin maçlara dair temel detayları sunmakta yetersiz kaldığı ve son derece hatalı bir dil kullandığı iddiaları ortaya atılmıştır (RiskYZ, 2023).

Axios adlı bir Amerikan haber sitesi Gannet'in hatalı cümlesini aynen aktarmış ve yapay zekânın takım isimlerini doğru oluşturamadığını belirtmiştir. Haberde bu haber sitesinin yapay zeka aracı ile hazırlanan onlarca maç özetini yayımladığı, içerikteki kodlama hataları ve bozuk dilbilgisi nedeniyle komik ve gerçek dışı ifadeler içeren metinlerin sıkça yer aldığı, editoryal kontrolden geçirilip geçirilmediğinin belirsiz olduğu, bu nedenlerle Gannett'in uygulamayı durdurduğunu vurgulamıştır (Buchanan, 2023). Konu ile ilgili kamuoyundan gelen tepkilerin çoğu haber sitesinin futbol müsabakasını yanlış yorumlayan, bir takımın başarısını adeta savaş kazanmış edasıyla açıklayan bir dile sahip olduğu üzerine yöneltilmiştir (Beşiroğlu, 2023).

Haber 3. Sports Illustrated Örneği

Sports Illustrated, Ağustos 1954'ten bu yana Amerika'da haber yapan bir spor dergisidir. Stuart Scheftel tarafından kurulan dergi, bir milyondan fazla tirajla Ulusal Dergi Ödülü'nü kazanan ilk dergi olmuştur. Basılı ve dijital yayın hakları 2024'te yapılan anlaşmayla Minute Media şirketi tarafından yürütülmektedir.

Derginin bir haberinde Drew Ortiz adlı sahte yazar biyografisinde kendisinin doğada büyüdüğü; kamp, yürüyüş ve ürün incelemeleri konusunda deneyimli olduğunu anlatmıştır. Ancak bu isimle doğrulanabilir bir gazeteciye rastlanılmamış, daha sonra yapılan araştırmada sahte yazarın profil fotoğrafı, yapay zekâ ürünü yüzler satan bir internet sitesinden bulunmuştur. Orada yer alan fotoğrafta kişi 'kısa kahverengi saçlı ve mavi gözlü genç beyaz erkek' şeklinde tanımlanmıştır (Harrison Dupre, 2023).

Drew Ortiz adlı sahte yazarın profili daha sonra kaldırılarak aynı bağlantı Sora Tanaka adlı başka bir yazara yönlendirilmiş, ancak bu isimle doğrulanabilir bir yazar da bulunamamıştır. Ayrıca haber içeriklerinde sahte profil Ortiz'e atfedilen bazı yazılar herhangi bir açıklama yapılmadan bir futbol yıldızı Tanaka adına aktarılmıştır (Strauss ve Sommer, 2023). Olayı Tanaka'nın fark etmesi üzerine habere kamuoyundan tepkiler gelmeye başlamış, Sports Illustrated çalışanlarının bu konuda rahatsızlık duyarak şirketin konuyla ilgili bir açıklama istediği belirtilmiştir. İlgili haberde kurum çalışanları, olayın gerçek gazetecilerin güvenilirliğini zedelediğini öne sürmüştür (Salam, 2023). Gerçekliği doğrulanamayan yazarların isimleriyle spor haberleri yaparak eleştirilerin hedefi olan dergi, doğrulanamayan yazar adları, kurgusal biyografiler ve yapay zekâ ürünü profil fotoğrafları altında haber yayımlandığı iddialarını kabul etmiş ve ilgili içerikler yayından kaldırılmıştır.

Haber 4. Microsoft Start–Guardian Örneği

The Guardian gazetesi, 1821 yılında kurulan, Birleşik Krallık merkezli ve liberal-merkez sol yayın çizgisiyle tanınan uluslararası bir haber kuruluşudur. The Guardian, 26 Ekim 2023'te Sydney'deki St Andrew's Cathedral School'da ölü bulunan 21 yaşındaki su topu antrenörü Lilie James hakkında şu haberi yayımlamıştır: *"Sydney'deki St Andrew's okulunda ölü bulunan kadının su topu antrenörü Lilie James olduğu belirlendi" (Rose ve Bucci, 2023).*

Ancak olayda asıl sorun, The Guardian'ın yayımladığı bu haber değil, Microsoft Start/MSN'nin lisans anlaşması kapsamında The Guardian'ın haberini kendi haber toplama platformunda yeniden yayımlayarak kamuoyuna servis etmesiyle başlamıştır. Microsoft Start/MSN'de bu haber yayımlanmış; ayrıca Microsoft'un yapay zekâ sistemi, özgün haberde bulunmayan ve

ölüm nedenini okuyuculara tahmin ettiren bir de anket düzenlemiştir. The Guardian'ın bilgisi ve onayı dışında bu içerik ve anket habere otomatik olarak eklemiştir.

Habere eklenen anket şu şekildedir*: "Sizce kadının ölümünün nedeni nedir?" Seçenekler: -Cinayet, -Kaza, -İntihar?*

Haberde anketin bu şekilde açıkça gösterilmesi, okuyucuların bunu Guardian gazetecilerinin hazırladığını düşünmesine yol açmış, bu yüzden Guardian, Microsoft MSN'i kendi itibarına zarar vermekle suçlamıştır. Olayın ardından Amerika'da popüler teknoloji, bilim, sanat ve kültür haberleri yapan The Verge gazetesi, olayı Microsoft MSN'in haber hizmetinde insan denetiminin yetersizliğini gösteren bir örnek olarak değerlendirmiştir. Haberde, anketin "Insights from AI" (yapay zeka öngörüleri) etiketi taşıdığı anket kaldırılmış olsa da, The Guardian'ın itibarına yönelik zararın ortaya çıktığı ifade edilmiştir. Okuyucuların anketin Guardian gazetesini zor duruma düşürdüğü, böylesine hassas bir içeriğin mutlaka insan editör tarafından denetlenmesi gerektiği hatırlatılmıştır (Davis, 2023).

Guardian Australia editörü Lenore Taylor (Tenore ve Thompson, 2023), olayın yapay zekânın ne kadar güvenilmez olabileceğini gösterdiğini belirtmiştir. Taylor'a göre bu tür otomatik uygulamalar, ölüm vakalarıyla ilgili kişilerin ve ailelerin yaşadığı sıkıntıyı daha da artırma riski doğurduğunu vurgulamıştır. Olaya ilişkin bir başka haberde ise (Edwards, 2023) özellikle editoryal kontrol, yayıncı onayı ve platformun sorumluluğu üzerinde durulmuştur. Haberde ölümün okuyucu etkileşimi sağlayan bir ankete dönüştürülmesinin kamuoyu adına son derece incitici olduğu vurgulanmış, mağdurun ve yakınlarının acısına karşı duyarsızlık ve yapay zekayla üretildiği belli olan anketin bir insan editör tarafından denetlenmemesi eleştirilmiştir.

Haber 5. Chicago Sun-Times Örneği

Chicago Sun-Times, Amerika'nın Chicago şehrinde yayınlanan günlük, kâr amacı gütmeyen bir gazetedir. 2022'den beri Chicago Public Media'nın amiral gemisi olan gazete Chicago Tribune'den sonra bölgedeki ikinci en büyük tiraja sahiptir.

Yapay zekâ destekli içerik üretiminin doğrulama ve editoryal denetim olmadan kullanılması, gerçekte var olmayan bilgilerin gazetecilik ürünü görünümünde dolaşıma girmesine neden olabilmektedir. Bunun dikkat çekici örneklerinden biri, Chicago Sun-Times gazetesinin 18 Mayıs 2025 tarihli sayısıyla birlikte dağıtılan Heat Index: Your Guide to the Best of Summer (Yazın En Güzel Seçenekleri için Rehberiniz) başlıklı özel ekte görülmüştür. Ekte yer alan "Summer Reading List for 2025" (2025 Yaz Okuma Listesi) başlıklı içerikte önerilen 15 kitabın 10'unun gerçekte var olmadığı; buna karşın bu eserlerin Isabel Allende, Andy Weir, Min Jin Lee, Rebecca Makkai ve Percival Everett gibi tanınmış yazarlara atfedildiği belirlenmiştir. Ayrıca hayalî kitaplar için gerçeğe uygun izlenimi veren konu özetleri de oluşturulmuştur (Koebler, 2025).

Olayın dikkat çekici yanlarından biri, sahte kitapların isimlerine eklenen yazarların hepsinin gerçek olmasına rağmen kitap isimlerinin yanlış olmasıdır. Olayın ardından bu listede adı geçen yazarlardan Lee, sosyal medya hesabından yaptığı açıklamada, "*'Nightshade Market' adlı bir roman yazmadım ve yazmayacağım, teşekkür ederim*" ifadelerini kullanmıştır (Harrington, 2025).

Haberin içeriğini hazırlayan gazeteci Marco Buscaglia, araştırma sürecinde üretken yapay zekadan yararlandığını ve yapay zekanın ürettiği bilgileri yayımlamadan önce doğrulamadığını kabul etmiştir. Her ne kadar söz konusu haber ekinin doğrudan gazetenin haber merkezi tarafından değil, üçüncü taraf içerik sağlayıcısı King Features Syndicate tarafından hazırlanmış olsa da Chicago Sun-Times adı altında okuyucuya sunulması, yayın kuruluşlarının editoryal denetim ve doğrulama sorumluluğunu tartışmaya açmış, olayın ardından gazete hatasını kabul etmiştir (Bell, 2025). Olay, üretken yapay zeka çıktılarının editoryal doğrulama süreçlerinden geçirilmeden yayımlanmasının kamuoyunda dezenformasyona yol açabileceğini gösteren

dikkat çekici bir örnek teşkil etmektedir.

3. Olayların Türk Anayasa Hukuku Bakımından Değerlendirilmesi

Çalışmada incelenen örnek olayların Amerika ve İngiltere'de faaliyet gösteren medya kuruluşlarına ait olması, bu vakaların Amerikan hukuku bakımından çözümlendiği anlamına gelmemektedir. Üretken yapay zekâ uygulamalarının farklı ülkelerdeki medya kuruluşları tarafından yaygın biçimde kullanılması; yanlış bilgi, editoryal denetim, kişilik hakları ve yayıncı sorumluluğu gibi benzer nitelikte hukuki sorunların farklı hukuk sistemlerinde gündeme gelmesine neden olabilmektedir.

Söz konusu vakalar, yapay zekâ destekli haber üretiminin yol açabileceği yanlış bilgi, kişilik haklarının ihlali ve editoryal sorumluluk sorunlarını somutlaştıran örnek olaylar olarak topyekûn ele alınmaktadır. Bu nedenle çalışmanın hukuki boyutunda, vakaların meydana geldiği ülkelerin hukuk sistemlerine göre hangi hukuki sonuçları doğurduğunun belirlenmesinden ziyade, bu vakalar aracılığıyla görünür hâle gelen hukuki risklerin Türkiye'deki karşılığı üzerinde durulmak istenmektedir. Başka bir ifadeyle çalışma, Amerikan hukukuna göre "bu olaylarda hangi hukuki sorumluluk doğmuştur?" sorusuna değil; benzer nitelikteki yapay zekâ kaynaklı gazetecilik uygulamalarının Türkiye'de gerçekleşmesi durumunda "Türk hukukuna göre hangi hakların ve sorumlulukların gündeme gelebileceği?" sorusuna odaklanmaktadır. Bu doğrultuda hukuki değerlendirme, Türkiye Cumhuriyeti Anayasası, 5187 sayılı Basın Kanunu, Anayasa Mahkemesi içtihadı ve gerektiği ölçüde Avrupa İnsan Hakları Mahkemesi kararları çerçevesinde gerçekleştirilmektedir. Bu tercih, yapay zekâ sistemlerinin doğurabileceği risklerin temel haklar merkezli olarak değerlendirilmesi gerektiğini vurgulayan insan hakları temelli yaklaşım ile uyumludur (Singil, 2022, s.128).

Konu anayasa hukuku açısından ele alındığında, söz konusu yayınların Anayasa'nın düşünceyi açıklama ve yayma hürriyetini düzenleyen 26. maddesi ile basın hürriyetini güvence altına alan 28. maddesi çerçevesinde incelenmesi mümkündür. Anayasa'nın 26. maddesinde, "*Herkes, düşünce ve kanaatlerini söz, yazı, resim veya başka yollarla tek başına veya toplu olarak açıklama ve yayma hakkına sahiptir. Bu hürriyet, resmî makamların müdahalesi olmaksızın haber veya fikir almak ya da vermek serbestliğini de kapsar*." hükmüne yer verilmiştir. Benzer şekilde, Anayasa'nın 28. maddesinde yer alan "*Basın hürdür, sansür edilemez*." hükmü, basın faaliyetlerinin anayasal koruma altında bulunduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Bu hükümler birlikte değerlendirildiğinde, yapay zekâ kullanılarak hazırlanan haber ve diğer basın içeriklerinin de kural olarak ifade ve basın özgürlüğünün koruma alanı içerisinde değerlendirilebileceği söylenebilir. Anayasa'nın 26. maddesinde korunan husus yalnızca belirli bir teknolojik yöntemle oluşturulan düşünceler değildir. Maddede düşüncenin "*söz, yazı, resim veya başka yollarla*" açıklanmasına ve yayılmasına imkân tanınması, hükmün yeni ve farklı teknolojik araçlarla gerçekleştirilen ifade biçimlerini de kapsayacak şekilde yorumlanmasını mümkün kılmaktadır. Bu nedenle, bir gazetecinin yapay zekâdan yararlanarak oluşturduğu bir yayının, sırf yapay zekânın yardımcı bir araç olarak kullanılmış olması nedeniyle Anayasa'nın 26. maddesi uyarınca sağlanan koruma alanı dışında bırakılması, yalnızca bu gerekçeye dayanılarak mümkün görünmemektedir. Nitekim ifade özgürlüğüne ilişkin hukuk literatüründe, yalnızca düşüncenin içeriğinin değil, düşünceyi açıklama biçimi ile kullanılan araç ve yolların da koruma kapsamında olduğu belirtilmektedir (Dost, 2023, s. 287). Nitekim yapay zekâ destekli içeriklerin geleneksel veya dijital ortamda yayımlanması, medya kuruluşunun editoryal sorumluluğunu ortadan kaldırmamakta; kişilik hakkı, mahremiyet ve yanlış bilgi riskleri bakımından yüksek özen göstermesini gerektirmektedir **(**Darı ve Koçyiğit, 2024, s. 256).

Bu çerçevede, anayasal güvencelerin basın mevzuatındaki yansıması bakımından 5187 sayılı Basın Kanunu'nun 3. maddesinde, "*Basın özgürdür. Bu özgürlük; bilgi edinme, yayma, eleştirme, yorumlama ve eser yaratma haklarını içerir. Basın özgürlüğünün kullanılması ancak*

demokratik bir toplumun gereklerine uygun olarak; başkalarının şöhret ve haklarının, toplum sağlığının ve ahlâkının, millî güvenlik, kamu düzeni, kamu güvenliği ve toprak bütünlüğünün korunması, Devlet sırlarının açıklanmasının veya suç işlenmesinin önlenmesi, yargı gücünün otorite ve tarafsızlığının sağlanması amacıyla sınırlanabilir." hükmüne yer verilmektedir. Basın özgürlüğünün somut olaylarda hukuka uygun biçimde kullanılıp kullanılmadığının değerlendirilmesinde ise haberin gerçeklik ve güncellik unsurlarını taşıması, yayımlanmasında kamu yararı ve toplumsal ilginin bulunması ve haberin konusu ile kullanılan ifadeler arasında düşünsel bağlılığın mevcut olması önem taşımaktadır. Bu ölçütlerin somut olay bakımından karşılanmaması, haber verme hakkının hukuka uygun biçimde kullanılıp kullanılmadığının ayrıca değerlendirilmesini gerektirebilir. İfade özgürlüğünün özel bir görünümünü oluşturan basın özgürlüğü de mutlak nitelikte olmayıp, temel hak ve hürriyetlerin sınırlandırılmasına ilişkin Anayasa'nın 13. maddesinde öngörülen şartlara uygun olarak sınırlandırılabilir (Cebre, 2016, 294). İncelenen vakalarda doğrudan bir kamu gücü müdahalesi değerlendirilmediğinden, Anayasa'nın 13. maddesindeki sınırlama testi somut olaylara ayrı ayrı uygulanmamış; bu madde yalnızca basın özgürlüğünün mutlak olmadığını gösteren genel çerçeve olarak kullanılmıştır. Bu çerçevede basın özgürlüğünün sınırlarının belirlenmesinde önem taşıyan bir diğer ölçüt, maddi olgu ile değer yargısı arasındaki ayrımdır. Bu ayrım, Avrupa İnsan Hakları Mahkemesi'nin Lingens v. Austria kararında (8 Temmuz 1986, B. No: 9815/82, § 46) ortaya koyduğu ve Anayasa Mahkemesi içtihadına da yansıyan bir ilkedir; buna göre maddi olguların doğruluğu ispatlanabilir nitelikte iken, değer yargılarının doğruluğunun kanıtlanması mümkün değildir. Basın ve ifade özgürlüğüne getirilecek sınırlamaların değerlendirilmesinde Anayasa'nın 13. maddesinde öngörülen genel sınırlama rejimi ile ifade özgürlüğüne ilişkin 26. maddede yer alan esasların birlikte dikkate alınması gerekir. Bu genel hukuki çerçeve, çalışmada incelenen örnek olaylar bakımından ortak bir hareket noktası oluşturmaktadır. Her olayda ortaya çıkan hukuki sorun farklılaştığından, söz konusu olaylar, kendi somut özellikleri ve gündeme getirdikleri temel hak çatışmaları dikkate alınarak ayrı ayrı anayasa hukuku bakımından değerlendirilecektir.

3.1. CNET Örneğinin Anayasal Değerlendirmesi

CNET örneğindeki temel anayasal sorun, yapay zekâ tarafından hazırlanan haber içeriklerinin yeterli doğrulama ve editoryal denetim yapılmadan yayımlanmasıdır. CNET olayının finansal rehber ve hesaplama içeriklerinde ortaya çıkması tesadüf değildir. Yapay zeka ile ilgili yapılan çalışmalarda yapay zekâ destekli haber üretiminin, veriye ve istatistiksel bilgilere dayanan ekonomi ve spor haberciliğinde daha kolay uygulanabildiği belirtilmektedir (Çavuş, 2024, s. 22). Somut olayda yanlış bilgilerin kasıtlı biçimde üretildiği ortaya konulmadığından, bu içerikleri doğrudan dezenformasyon olarak değil, doğrulanmadan yayımlanmış yanlış veya yanıltıcı bilgi olarak nitelendirmek daha isabetlidir (Avşar, 2025, s. 212; Dost, 2023, s. 298-299). Bu içerikler kural olarak Anayasa'nın 26. ve 28. maddeleri uyarınca güvence altına alınan ifade ve basın özgürlüğü kapsamında değerlendirilse de, basın özgürlüğü, gerçeğe aykırı bilgilerin hiçbir sorumluluk doğurmadan yayımlanabileceği anlamına gelmemektedir. Anayasa Mahkemesi bir kararında "*Basın özgürlüğü ile itibarın korunması hakkı arasında denge kurulmasıyla ilgili olarak mevcut olaya uygulanabilecek olan kriterler şu şekilde sayılabilir: Genel yarara ilişkin bir tartışmaya katkı sağlanıp sağlanmadığı, hedef alınan kişinin konumu (siyasetçi, kamu görevlisi veya sıradan birey olup olmaması ve ünlülük derecesi gibi); haber, köşe yazısı veya makalenin konusu, ilgili kişinin önceki davranışları; yayımın içeriği, şekli ve sonuçları ile haber, köşe yazısı veya makalenin yayımlanma şartları"nın* dikkate alınması gerektiğini ifade etmiştir. (AYM, B. No: 2013/5573, s. 42). Ancak yukarıdaki ölçütlerin CNET olayına doğrudan uygulanmasında dikkatli olunmalıdır. Çünkü söz konusu AYM kararı, basın özgürlüğü ile belirli bir kişinin şeref ve itibarının korunması hakkı arasındaki çatışmaya

ilişkindir. CNET olayında ise doğrudan hedef alınan belirli bir kişiden ziyade, kamuoyuna sunulan finansal bilgilerin doğruluğu ve güvenilirliği tartışılmaktadır. Bu nedenle olayın anayasal değerlendirmesinde haberin olgusal temeli, kamu yararına katkısı ve okuyucular üzerindeki muhtemel etkisi ön plana çıkmaktadır. Anayasa Mahkemesi ayrıca maddi olgular ile değer yargıları arasında ayrım yapılması gerektiğini; maddi olguların doğruluğunun ispatlanabilir olduğunu, değer yargılarının ise en azından yeterli bir olgusal temele dayanmasının beklendiğini belirtmektedir (AYM, B. No: 2013/5573, s. 43). CNET'in finans haberlerindeki matematiksel hesaplamalar değer yargısı değil, doğruluğu nesnel olarak denetlenebilen maddi olgulardır.

CNET'in yayımladığı finans içeriklerinde matematiksel hesaplama hatalarının bulunması, haberin gerçeklik ölçütü ve yayın kuruluşunun editoryal özen yükümlülüğü bakımından sorun oluşturmaktadır. Özellikle ekonomi ve yatırım konularındaki yanlış bilgilerin okuyucuların mali kararlarını etkileme ihtimali, yayın öncesinde insan denetimi ve kaynak doğrulaması yapılmasını daha önemli hâle getirmektedir. Bununla birlikte haberlerde hata bulunması, söz konusu içeriklerin kendiliğinden anayasal korumanın dışına çıkması sonucunu doğurmaz. Basın Kanunu'nun düzeltme ve cevap hakkı başlıklı 14. maddesinde yer alan "*Süreli yayınlarda kişilerin şeref ve haysiyetini ihlâl edici veya kişilerle ilgili gerçeğe aykırı yayım yapılması halinde, bundan zarar gören kişinin yayım tarihinden itibaren iki ay içinde göndereceği suç unsuru içermeyen, üçüncü kişilerin hukuken korunan menfaatlerine aykırı olmayan düzeltme ve cevap yazısını; sorumlu müdür hiçbir düzeltme ve ekleme yapmaksızın, günlük süreli yayınlarda yazıyı aldığı tarihten itibaren en geç üç gün içinde, diğer süreli yayınlarda yazıyı aldığı tarihten itibaren üç günden sonraki ilk nüshada, ilgili yayının yer aldığı sayfa ve sütunlarda, aynı puntolarla ve aynı şekilde yayımlamak zorundadır*." hükmü uyarınca yayın kuruluşlarının hatalı içerikleri fark edilmesi hâlinde düzeltme yükümlülüğüne ilişkin somut bir yasal mekanizma öngörmektedir. CNET'in ilgili içerikleri silmesi veya düzeltmesi, bu mekanizmanın fiilen işletildiğini göstermektedir. Bu durum yanlış içeriğin açıklama yapılarak düzeltilmesi ya da yayından kaldırılmasına ilişkin editoryal sorumluluğun somut bir örneği olarak değerlendirilebilir (Darı ve Koçyiğit, 2024, s. 256). Değerlendirmede hatanın niteliği ve ağırlığı, yayının kamu yararına katkısı, okuyucular üzerindeki etkisi ve yayın kuruluşunun doğrulama konusunda gösterdiği özen birlikte dikkate alınmalıdır. Yapay zekânın hatalı sonuç üretmesi, içeriği yayımlayan kuruluşun sorumluluğunu kendiliğinden ortadan kaldırmaz. Yapay zekâ sisteminin mevcut hukukta bağımsız bir sorumluluk süjesi olmaması nedeniyle değerlendirme, içeriğin üretilmesi, seçilmesi, yayımlanması ve düzeltilmesi üzerinde kontrol sahibi gerçek veya tüzel kişiler üzerinden yürütülmelidir. (Yünlü, 2024, s. 530). Çünkü içeriğin kamuya sunulmasına ilişkin son karar yapay zekâ sistemi tarafından değil, yayıncı tarafından verilmektedir. Bu nedenle CNET örneği, basın özgürlüğünün koruma alanı ile doğrulanabilir finansal bilgilerin yayımlanmasında beklenen editoryal özen arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Belirli bir karşı hak veya kamu gücü müdahalesi ortaya konulmadıkça olay, tek başına klasik anlamda iki anayasal hak arasında bir çatışma olarak sunulmamalıdır.

3.2. Gannett Örneğinin Anayasal Değerlendirmesi

Gannett örneğindeki temel anayasal sorun, yapay zekâ aracılığıyla hazırlanan spor haberlerinin yeterli doğrulama ve editoryal denetim yapılmadan yayımlanmasıdır. Söz konusu içerikler, kural olarak Anayasa'nın 26. maddesinde düzenlenen ifade özgürlüğü ile 28. maddesinde güvence altına alınan basın özgürlüğünün koruma alanında bulunmaktadır. Haberlerin otomatik bir sistem kullanılarak hazırlanması, bu içeriklerin anayasal niteliğini tek başına değiştirmemektedir. Bununla birlikte yapay zekâ kullanılması, yayın kuruluşunun içeriğin doğruluğunu ve yayıma uygunluğunu denetleme gerekliliğini ortadan kaldırmamaktadır. Anayasa Mahkemesi, ifade özgürlüğünün yalnızca açıklanan haber ve fikirlerin içeriğini değil,

bunların aktarılma biçimini de koruduğunu belirtmektedir. Mahkemeye göre yargı mercilerinin gazetecilik mesleğinin nasıl yapılacağını veya gazetecilerin kullanacağı haber verme tekniğini belirlemesi mümkün değildir (AYM, B. No: 2013/5573, § 55). "*Kamusal yararlara ilişkin meselelerin aktarılması için gazetecilere sağlanan güvencenin şartı, gazetecilik etiğine uygun olarak onların kesin ve güvenilir bilgi sağlamak konusunda iyi niyet sahibi olmalarıdır*." (bkz. Bladet Tromsø and Stensaas/Norveç, § 65;Colombani ve diğerleri/Fransa, B.No: 51279/99,25/06/2002, §65). Bu çerçevede bir medya kuruluşunun spor haberlerinin hazırlanmasında yapay zekâ kullanmayı tercih etmesi de kural olarak basın özgürlüğünün koruma alanında değerlendirilmelidir. Ancak Gannett tarafından yayımlanan haberlerde "kazanan takım maskotu" ve "kaybeden takım maskotu" biçimindeki kodlanmış yer tutucuların doldurulmadan bırakılması, yalnızca gazetecilik üslubuna ilişkin bir tercih değildir. Takımların adları, maçın sonucu ve karşılaşmanın tarihi gibi bilgiler, doğruluğu nesnel olarak denetlenebilen maddi olgulardır. Anayasa Mahkemesi de maddi olgular ile değer yargıları arasında ayrım yapılması gerektiğini ve maddi olguların doğruluğunun kanıtlanabilir nitelikte olduğunu kabul etmektedir (AYM, B. No: 2013/5573, § 43). Bu nedenle takım isimlerinin eksik veya yanlış verilmesi ve tarihlerin hatalı şekilde tekrarlanması, haberlerin olgusal temeli ve güvenilirliği bakımından değerlendirilmelidir.

Bununla birlikte haberlerde kodlama, dil bilgisi veya anlatım hatalarının bulunması, içeriklerin kendiliğinden anayasal koruma alanının dışına çıkması sonucunu doğurmaz. Anayasa'nın 26. ve 28. maddeleri, yalnızca kusursuz şekilde hazırlanmış haberleri korumamaktadır. Yapılacak değerlendirmede hataların niteliği ve ağırlığı, okuyucuların doğru bilgi edinmesi üzerindeki etkisi, yayının kamu yararına katkısı ve medya kuruluşunun hataları düzeltmek amacıyla gösterdiği çaba birlikte dikkate alınmalıdır.

Gannett'in hataların ortaya çıkmasının ardından yapay zekâ aracılığıyla spor haberi üretme uygulamasını durdurması, kullanılan sistemin yeterli editoryal güvence sağlamadığını göstermesi bakımından önemlidir. Bununla birlikte anayasal değerlendirmede yalnızca kullanılan teknolojiye değil, bu teknolojiyle hazırlanan içeriğin yayımlanma biçimine ve kamuoyu üzerindeki etkisine bakılmalıdır. Yapay zekânın hatalı veya eksik metin üretmesi, içeriği yayımlama konusunda nihai kararı veren medya kuruluşunun rolünü ortadan kaldırmamaktadır.

Sonuç olarak Gannett örneği, basın özgürlüğünün koruma alanı ile doğrulanabilir bilgilerin yayımlanmasında beklenen editoryal özen arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Somut olayda belirli bir karşı hak veya kamu gücü müdahalesi ortaya konulmadığından, olayın klasik anlamda iki anayasal hak arasındaki bir çatışma olarak değerlendirilmesi gerekli değildir. Somut olaydaki sorun, doğrudan yapay zekâ kullanılmasından değil, yapay zekâ tarafından hazırlanan içeriğin yeterli insan denetimi ve doğrulama yapılmadan yayımlanmasından kaynaklanmaktadır. Nitekim otomatik haber üretimine ilişkin literatürde, ham verilerin işlenmesi yapay zekâ sistemlerince yürütülse bile, haber değeri ve yayına uygunluk değerlendirmesinin gerçek editörlerce yapıldığı belirtilmektedir (Çavuş, 2024, s. 23).

3.3. Sports Illustrated Örneğinin Anayasal Değerlendirmesi

Sports Illustrated örneğindeki temel anayasal sorun, yapay zekâ ürünü profil fotoğrafları ve gerçekliği doğrulanamayan yazar kimlikleri kullanılarak içeriklerin gerçek gazeteciler tarafından hazırlanmış gibi okuyucuya sunulmasıdır. Söz konusu içerikler, kural olarak Anayasa'nın 26. maddesinde düzenlenen ifade özgürlüğü ile 28. maddesinde güvence altına alınan basın özgürlüğünün koruma alanında bulunmaktadır. Haber üretiminde takma ad veya yapay zekâ ürünü görsel kullanılması da içeriği tek başına anayasal korumanın dışına çıkarmamaktadır. Anayasa'nın 26. maddesi yalnızca haber ve fikir açıklama hakkını değil,

haber veya fikir alma serbestliğini de güvence altına almaktadır. Bu nedenle basın özgürlüğünün anayasal işlevi, yalnızca medya kuruluşlarının içerik yayımlayabilmesiyle sınırlı değildir. Basının kamusal işlevi, okuyucunun haberin kaynağını ve niteliğini değerlendirebilmesini sağlayan şeffaflığı önemli kılar; ancak bu husus, özel medya kuruluşuna karşı her durumda ileri sürülebilecek bağımsız ve mutlak bir "doğru bilgi hakkı" olarak formüle edilmemelidir. Kurgusal bir yazar kimliğinin gerçek bir gazeteciye aitmiş gibi sunulması, okuyucunun içeriğin kaynağını ve güvenilirliğini değerlendirmesini güçleştirebilir (Sarı, 2025, s. 50). Anayasa Mahkemesi, basın özgürlüğüyle çatışan haklar arasında denge kurulurken yayının genel yarara ilişkin bir tartışmaya katkısını, içeriğini, biçimini, sonuçlarını ve yayımlanma koşullarını dikkate almaktadır (AYM, B. No: 2013/5573, § 42). Bu ölçütler Sports Illustrated olayına uygulandığında, yapay zekâ ürünü fotoğrafların ve gerçekliği doğrulanamayan biyografilerin herhangi bir açıklama yapılmadan kullanılması önem taşımaktadır. Okuyucuların içerikleri gerçek bir gazeteci tarafından hazırlanmış zannetmesi, yayının sunuluş biçimi ile gerçek kaynağı arasında farklılık meydana getirmektedir. Bu değerlendirme, profil ve görsellerin yapay zekâ ürünü olduğu yönündeki iddialar esas alınarak yapılmaktadır. Yayıncı tarafın, içeriklerin üçüncü taraf sağlayıcı tarafından insan yazarlarla hazırlandığı ve gizlilik amacıyla takma ad kullanıldığı yönündeki karşı açıklaması da olgusal belirsizlik kapsamında dikkate alınmalıdır. Bununla birlikte tamamen kurgusal bir adın ve herhangi bir gerçek kişiye ait olmayan yapay zekâ ürünü bir yüzün kullanılması, tek başına Anayasa'nın 17. maddesinde korunan belirli bir kişinin şeref ve itibarının ihlal edildiği sonucunu doğurmaz. Burada öncelikli hukuki sorun belirli bir kişinin itibarına yönelmiş saldırıdan çok, yayının gerçek kaynağının okuyucudan gizlenmesi ve içeriğin gerçek bir gazeteci tarafından hazırlanmış izlenimiyle sunulmasıdır. Anayasa'nın 17. maddesinin gündeme gelebilmesi için içeriğin belirli veya belirlenebilir bir gerçek kişinin manevi varlığıyla ilişkilendirilmesi gerekir. Gerçek bir kişinin adı, fotoğrafı veya mesleki kimliği kullanılmışsa basın özgürlüğü ile ilgili kişinin şeref ve itibarının korunması hakkı arasında ayrıca denge kurulmalıdır. Anayasa Mahkemesi, ifade özgürlüğünün haber ve fikirlerin yalnızca içeriğini değil, aktarılma biçimini de koruduğunu ve yargı mercilerinin gazetecilik tekniğini belirleyemeyeceğini kabul etmektedir (AYM, B. No: 2013/5573, § 55). Dolayısıyla anayasal denetimin amacı medya kuruluşlarına belirli bir haber üretim yöntemi dayatmak değildir. Ancak yayın yönteminin okuyucunun haberin kaynağı konusunda yanıltılmasına yol açıp açmadığı, içeriğin güvenilirliği değerlendirilirken dikkate alınabilir. Sonuç olarak Sports Illustrated örneği, medya kuruluşlarının haber üretme ve sunma yöntemlerini belirleme özgürlüğü ile kaynak şeffaflığı ve editoryal güvenilirlik arasındaki ilişkiyi gündeme getirmektedir. Somut olaydaki temel sorun yapay zekânın kullanılması değil, yapay zekâ ürünü yazar profillerinin gerçekmiş gibi ve yeterli şeffaflık sağlanmadan sunulmasıdır.

3.4. Microsoft Start–Guardian Örneğinin Anayasal Değerlendirmesi

Microsoft Start–Guardian örneğindeki temel anayasal sorun, bir ölüm haberinin yanına yapay zekâ tarafından oluşturulan ve ölüm nedeninin tahmin edilmesini isteyen bir anket eklenmesidir. Haber ve anket, kural olarak Anayasa'nın 26. maddesinde düzenlenen ifade özgürlüğü ile 28. maddesinde güvence altına alınan basın özgürlüğü kapsamında değerlendirilebilir. Bununla birlikte ölüm olayının cinayet, kaza veya intihar seçenekleri içeren bir ankete dönüştürülmesi, özellikle ölen kişinin yakınlarının Anayasa'nın 17. maddesi kapsamında korunan kendi manevi varlıkları üzerindeki muhtemel etkileri nedeniyle anayasal incelemeyi gerektirebilir. Anayasa Mahkemesine göre bireyin şeref ve itibarı, Anayasa'nın 17. maddesinde yer alan manevi varlık kapsamında bulunmaktadır. Devletin bu hakka keyfî biçimde müdahale etmeme şeklindeki negatif yükümlülüğünün yanında, bireyleri üçüncü kişilerden gelebilecek saldırılara karşı koruma şeklinde pozitif yükümlülüğü de bulunmaktadır

(AYM, B. No: 2013/5573, §§ 38–39). Bu nedenle olayın anayasal değerlendirmesinde platformun ifade ve basın özgürlüğü ile ölüm olayından etkilenen kişilerin manevi varlıklarının korunması arasında denge kurulması gerekir. Ölen kişinin kişilik hakkının ihlal edildiği şeklinde kesin bir sonuca varılması anayasal değerlendirme bakımından yeterli değildir. Bunun yerine, anketin ölen kişinin yakınlarının Anayasa'nın 17. maddesi kapsamında korunan kendi manevi varlıkları üzerinde bir etki doğurup doğurmadığı, somut olayın koşullarına göre incelenmelidir. Doğrudan aynı olgusal duruma ilişkin olmamakla birlikte; AİHM de benzer bir dengelemeyi ölüm olaylarına ilişkin yayınlarda uygulamıştır; bkz. Hachette Filipacchi Associés v. France (14 Haziran 2007, B. No: 71111/01, bir suikast kurbanının cesedinin fotoğrafının yayımlanmasına ilişkin) ve Editions Plon v. France (18 Mayıs 2004, B. No: 58148/00, ölen kişinin hastalığına dair kitabın yayımlanmasına ilişkin). Ölüm nedeninin okuyucu etkileşimini artıran bir tahmin konusu hâline getirilmesi, yakınların yaşadığı acıyı ağırlaştırabilecek ve insan onuruna uygun yayıncılık bakımından sorun oluşturabilecek niteliktedir. Anayasa Mahkemesi, çatışan haklar arasında denge kurulurken yayının genel yarara ilişkin tartışmaya katkısını, konusunu, içeriğini, biçimini, sonuçlarını ve yayımlanma koşullarını dikkate almaktadır (AYM, B. No: 2013/5573, § 42). Guardian'ın özgün haberi kamuoyunu ölüm olayı hakkında bilgilendirme amacı taşımaktadır. Ancak sonradan eklenen anketin haberin bilgilendirme işlevine ne ölçüde katkı sağladığı tartışmalıdır. Anketin ölüm nedenine ilişkin doğrulanmış bir bilgi sunmaması ve okuyucuları spekülasyona yöneltmesi, yayının kamu yararına katkısını zayıflatmaktadır. Anketin yapay zekâ tarafından otomatik olarak oluşturulması anayasal değerlendirmeyi değiştirmemektedir. Burada belirleyici olan, kullanılan teknolojiden çok, ortaya çıkan içeriğin yayımlanma biçimi ve kişilerin anayasal hakları üzerindeki etkisidir. Ayrıca anketin Guardian'ın bilgisi ve onayı dışında Microsoft Start tarafından eklenmiş olması nedeniyle özgün haberi hazırlayan kuruluş ile içeriğe sonradan müdahale eden platformun rolleri birbirinden ayrılmalıdır. Bu ayrım yapılırken anketi kimin ürettiği, özgün habere kimin eklediği, yayımlama üzerinde kimin fiilî kontrol sahibi olduğu ve düzeltme imkânının kimde bulunduğu ayrı ayrı belirlenmelidir; otomatik üretim bu aktörlerin hesap verebilirliğini ortadan kaldırmaz (Singil, 2022, s.28). Sonuç olarak Microsoft Start–Guardian örneği, Anayasa'nın 26. ve 28. maddelerinde korunan ifade ve basın özgürlükleri ile Anayasa'nın 17. maddesinde korunan manevi varlık arasında adil bir denge kurulmasını gerektirmektedir. Somut olaydaki temel anayasal sorun, ölüm haberinin yapay zekâ aracılığıyla doğrulanmamış bir tahmin ve etkileşim aracına dönüştürülmesidir.

3.5. Chicago Sun-Times Örneğinin Anayasal Değerlendirmesi

Chicago Sun-Times örneğindeki temel anayasal sorun, gerçekte var olmayan kitapların gerçek yazarlara atfedilerek yayımlanmasıdır. Kitap listesinin hazırlanması ve yayımlanması, kural olarak Anayasa'nın 26. maddesinde düzenlenen ifade özgürlüğü ile 28. maddesinde güvence altına alınan basın özgürlüğünün koruma alanındadır. Ancak gerçek yazarların yazmadıkları eserlerle ilişkilendirilmesi, Anayasa'nın 17. maddesinde korunan şeref ve itibarlarıyla bağlantılı bir anayasal sorun meydana getirmektedir. Anayasa Mahkemesi, bireyin şeref ve itibarının Anayasa'nın 17. maddesinde yer alan manevi varlığın bir parçası olduğunu kabul etmektedir. Mahkemeye göre devletin, bireyleri üçüncü kişilerden gelebilecek şeref ve itibar saldırılarına karşı koruma yönünde pozitif yükümlülüğü bulunmaktadır (AYM, B. No: 2013/5573, §§ 38-39). Bu nedenle Chicago Sun-Times olayında basın özgürlüğü ile gerçek yazarların şeref ve itibarlarının korunması hakkı arasında denge kurulmalıdır. Anayasa Mahkemesi, maddi olgular ile değer yargıları arasında ayrım yapılması gerektiğini belirtmektedir. Maddi olguların doğruluğu kanıtlanabilirken değer yargılarının doğruluğunun kanıtlanması mümkün değildir; ancak değer yargılarının da yeterli bir olgusal temele dayanması beklenmektedir (AYM, B. No: 2013/5573, § 43). Bir yazarın belirli bir kitabı yazıp yazmadığı, öznel değerlendirmeye değil,

nesnel olarak doğrulanabilecek maddi bir olguya ilişkindir. Dolayısıyla gerçekte bulunmayan eserlerin gerçek yazarlara atfedilmesi, basit bir eleştiri veya değer yargısı olarak değerlendirilemez. Haklar arasında denge kurulurken yayının kamu yararına katkısı, hedef alınan kişinin konumu, içeriği, biçimi, sonuçları ve yayımlanma şartları birlikte ele alınmalıdır (AYM, B. No: 2013/5573, § 42). Kitap önerilerinin kültür ve edebiyat alanında toplumu bilgilendirme amacı taşıması belirli bir kamu yararı sağlayabilir. Bununla birlikte önerilen eserlerin çoğunun gerçekte bulunmaması ve bunların gerçek yazarlarla ilişkilendirilmesi, yayının olgusal temelini ve güvenilirliğini önemli ölçüde zayıflatmaktadır. Yanlış atıfların yazarların mesleki kimliği ve edebî itibarı üzerindeki muhtemel etkileri de dikkate alınmalıdır. Bir yazara yazmadığı bir eserin atfedilmesi, okuyucularda o yazarın üretimleri hakkında gerçeğe aykırı bir kanaat oluşturabilir. Bu nedenle yayının yalnızca okuyucular üzerindeki etkisi değil, adı kullanılan yazarların manevi varlıkları üzerindeki sonuçları da anayasal dengelemenin parçasını oluşturmalıdır. İçeriğin üçüncü taraf bir sağlayıcı tarafından hazırlanması ve araştırma sırasında yapay zekâ kullanılması, anayasal sorunu ortadan kaldırmamaktadır. Değerlendirmede içeriğin hangi araçla üretildiğinden çok, gerçek yazarlara ilişkin doğrulanabilir bilgilerin kontrol edilmeden yayımlanması önem taşımaktadır. İçeriği kendi yayınıyla kamuoyuna ulaştıran medya kuruluşunun bu süreçteki rolü de göz önünde bulundurulmalıdır. Sonuç olarak Chicago Sun-Times örneği, Anayasa'nın 26. ve 28. maddelerinde güvence altına alınan ifade ve basın özgürlükleri ile gerçek yazarların Anayasa'nın 17. maddesi kapsamında korunan şeref ve itibarları arasındaki çatışmayı gündeme getirmektedir. Somut olaydaki temel sorun, yapay zekânın kullanılması değil, nesnel olarak doğrulanabilecek bilgilerin kontrol edilmeden gerçek kişilerle ilişkilendirilerek yayımlanmasıdır.

SONUÇ

Yapay zekâ teknolojilerinin gazetecilikte kullanımı, haber üretimini hızlandırma, maliyetleri azaltma ve rutin haber üretimini kolaylaştırması gibi konularda medya kuruluşlarına önemli imkânlar sunmaktadır. Ancak yapay zekânın medya içeriklerine sağladığı kolaylıkların yanında, ürettiği yanlış ya da eksik haberlerle kamuoyunun önüne çıkması, güvenilir bilgi sunma, kişilik haklarına saygı gösterme ve editoryal denetim sağlama gibi yükümlülüklerin tekrar gözden geçirilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu bağlamda çalışma kapsamında incelenen olaylar yapay zekâ çıktılarının yeterli doğrulama, şeffaflık ve insan denetimi sağlamadığı takdirde yanlış bilgi, kaynak güvenilirliği, kişilik hakları gibi konularda ciddi sorunlar doğurabildiğini göstermektedir. Dolayısıyla incelenen olaylardaki temel sorun, yalnızca teknolojinin hata üretme ihtimalinden değil, bu hataların yayımlanmadan önce tespit edilmesini sağlayacak editoryal mekanizmaların ve yayımlandıktan sonraki süreçte hukuki mekanizmaların belirsizliğinden kaynaklanmaktadır.

İncelenen olaylar, yapay zekâ kullanımının gazetecilikte çeşitli hukuki riskler doğurduğunu ortaya koymuştur. CNET'in ekonomi içeriklerinde görülen rakamsal yanlışlıklar ile Gannett'in spor haberlerindeki eksik ve hatalı ifadeler, doğruluğu kontrol edilmesi gerekirken kontrol edilmeden yayımlanması sorununu ortaya çıkarmıştır. Sports Illustrated örneğinde doğrulanamayan yazar kimlikleri, kurgusal biyografiler ve yapay zekâ ürünü olduğu ileri sürülen profil görselleri, okuyucunun içeriğin kaynağını ve güvenilirliğini değerlendirmesini güçleştirmiştir. Chicago Sun-Times'ın gerçekte var olmayan kitapları gerçek yazarlara ait gibi göstermesi ilgili yazarların mesleki kimlikleri ile itibarları bakımından risk oluşturmakta, ancak mevcut verilerle Anayasa'nın 17. maddesi kapsamında doğrudan bir kişilik hakkı ihlali sonucuna varılmamaktadır. Microsoft Start–Guardian olayında ise bir ölüm haberinin yapay zekâ tarafından oluşturulan bir ankete dönüştürülmesi, kamuoyunu bilgilendirmekten uzak biçimde tartışmalı bir içerik ortaya çıkarmış; insan onuru ile ölen kişinin yakınlarının manevi

varlığının korunması bakımından büyük bir sorun meydana getirmiştir.

Türk anayasa hukuku bakımından yapay zekâ aracılığıyla hazırlanan haberler, yapay zekânın kendisine ait bir temel hakkın kullanımı olarak değil, bu sistemi kullanan gazeteci, editör ve medya kuruluşlarının ifade ve basın özgürlükleri kapsamında değerlendirilmelidir. İçeriğin yapay zekâ yardımıyla hazırlanması, yayını Anayasa'nın 26. ve 28. maddelerinin koruma alanından kendiliğinden çıkarmamaktadır. Bununla birlikte söz konusu anayasal koruma, yapay zekâ tarafından oluşturulan her içeriğin herhangi bir denetim veya sorumluluk olmaksızın yayımlanabileceği anlamına da gelmemektedir. Basın özgürlüğünün; Anayasa'nın 17. maddesi kapsamında korunan insan onuru, şeref ve itibar ile kişinin maddi ve manevi varlığını koruma hakkı karşısında somut olayın koşullarına göre dengelenmesi gerekmektedir.

Bu dengelemede içeriğin yapay zekâ tarafından üretilmiş olması tek başına belirleyici bir ölçüt değildir. Hukuki değerlendirme; yayının olgusal temeli, güncelliği, kamu yararına katkısı, yayımlanma biçimi, kullanılan ifadeler, etkilenen kişilerin konumu, doğurduğu sonuçlar ve medya kuruluşunun gösterdiği editoryal özen dikkate alınarak yapılmalıdır. Özellikle kişi, eser, tarih, sayısal veri, alıntı ve olay bilgisi gibi doğruluğu nesnel olarak sınanabilen unsurların yanlış aktarılması, değer yargısı kapsamında değil, maddi olguların doğruluğu ve yeterli olgusal temel ölçütleri çerçevesinde değerlendirilmelidir.

Çalışmada ulaşılan bir diğer sonuç, mevcut Türk hukuku bakımından yapay zekâ sistemlerinin bağımsız bir temel hak öznesi veya yayıncı olarak kabul edilmeyeceği ve bu nedenle hatalı içeriklerin sorumluluğunun doğrudan yapay zekâya yüklenemeyeceğidir. İçeriğin seçilmesi, değiştirilmesi, onaylanması ve kamuoyuna sunulması konusundaki nihai karar gerçek kişiler veya medya kuruluşları tarafından verilmektedir. Bu nedenle yapay zekânın hata üretmesi, içeriği yayımlayan kuruluşun doğrulama ve editoryal denetim sorumluluğunu ortadan kaldırmamaktadır. İçeriğin üçüncü taraf bir sağlayıcı tarafından hazırlanması ya da bir haber toplama platformunca özgün yayına sonradan eklenmesi de içeriği kendi adı ve arayüzü altında kamuoyuna ulaştıran kuruluşun rolünün ayrıca değerlendirilmesine engel değildir.

Bu doğrultuda medya kuruluşlarının yapay zekâ kullanımına ilişkin açık ve uygulanabilir editoryal ilkeler geliştirmesi gerekmektedir. Yapay zekâ tarafından üretilen veya önemli ölçüde yapay zekâ yardımıyla hazırlanan içerikler yayımlanmadan önce insan denetiminden geçirilmeli; doğrulanabilir bilgiler güvenilir kaynaklarla karşılaştırılmalı ve yapay zekânın üretim sürecindeki rolü okuyucuyu yanıltmayacak biçimde açıklanmalıdır. İncelenen ölüm haberi örneğinin de gösterdiği üzere, sağlık, suç, çocuklar ve özel hayat gibi benzer hassas alanlarda daha sıkı editoryal denetim uygulanması önerilebilir. Yanlış içeriğin yayımlanması hâlinde, uygulanabilir mevzuattaki kişi, yayın türü ve süre koşulları oluşmuşsa düzeltme ve cevap mekanizmaları gündeme gelebilir. İçeriğin kaldırılması veya erişimin sınırlandırılması gibi müdahaleler ise ilgili kanuni dayanak ile somut olayın gereklilik ve ölçülülük koşulları ayrıca incelenerek değerlendirilmelidir.

Sonuç olarak yapay zekâ kullanımı basın özgürlüğünü ortadan kaldırmadığı gibi, medya kuruluşlarının doğruluk, güvenilirlik, şeffaflık ve kişilik haklarına saygı yükümlülüklerini de azaltmamaktadır. Aksine, yapay zekâ sistemlerinin olgusal hata ve gerçeğe benzer kurgusal içerik üretme kapasitesi, insan denetimini ve editoryal özen yükümlülüğünü daha önemli hâle getirmektedir. Bu nedenle yapay zekâ destekli gazetecilikte hukuki sorumluluğun merkezinde kullanılan teknoloji değil, bu teknolojiyi haber üretimine dâhil eden, ortaya çıkan içeriği kamuoyuna sunan, özgün içeriğe sonradan müdahale eden fiilî kontrol sahibi olan medya yöneticilerinin rolleri ayrı ayrı dikkate alınmalıdır.

Çalışmada farklı ülkelerde gerçekleşen beş örnek olayın Türk anayasa hukuku bakımından değerlendirilmesi, araştırmanın temel sınırlılığını oluşturmaktadır. Ulaşılan sonuçlar, bu vakalarda kesin bir hak ihlali veya sorumluluk bulunduğu şeklinde değil, benzer uygulamaların

Türkiye'de gerçekleşmesi hâlinde gündeme gelebilecek anayasal hak ve ölçütlerin belirlenmesi şeklinde değerlendirilmelidir. Türkiye'de faaliyet gösteren medya kuruluşlarının yapay zekâ politikalarında, editoryal denetim uygulamaları ve yapay zekâ kaynaklı somut uyuşmazlıkların incelenmesi konularında sorumluluğun kapsam ve sınırlarını çizecek hukuksal bir çerçevenin çizilmesi gelecekte meydana gelmesi kaçınılmaz olan hukuki sorunların çözümünde son derece önemli olacaktır.

KAYNAKÇA

Avrupa İnsan Hakları Mahkemesi (AİHM), Bladet Tromsø and Stensaas/Norveç [BD], B. No: 21980/93, 20/5/1999, § 59. https://hudoc.echr.coe.int. (Erişim Tarihi: 27 Ağustos 2026).

Avrupa İnsan Hakları Mahkemesi (AİHM). (2004). Éditions Plon/Fransa (B. No: 58148/00, 18 Mayıs 2004). https://hudoc.echr.coe.int/eng?i=001-61760. (Erişim Tarihi: 27 Ağustos 2026).

Avrupa İnsan Hakları Mahkemesi (AİHM). (2007). Hachette Filipacchi Associés/Fransa (B. No: 71111/01, 14 Haziran 2007). https://hudoc.echr.coe.int/eng?i=001-81066. (Erişim Tarihi: 27 Ağustos 2026).

Anayasa Mahkemesi (AYM), İlhan Cihaner (6) [1. B.], B. No: 2013/5573, 6/10/2015. https://kararlarbilgibankasi.anayasa.gov.tr, (Erişim Tarihi: 27 Ağustos 2026).

Avşar, B.(2025). Yapay Zekâ ve Dezenformasyon: OpenAI Raporu Doğrultusunda Küresel Dezenformasyon Kampanyalarının Analizi. TRT Akademi, 10 (23), 208-237. https://doi.org/10.37679/trta.1562358

Bell, M. (2025, 20 Mayıs). Chicago Sun-Times response to May 18 special section. Chicago Sun-Times. https://chicago.suntimes.com/press-room/2025/05/20/chicago-sun-times-response-to-may-18-special-section.

Beşiroğlu, Y. C. (2023, 4 Eylül). Yapay zekâ bu işi beceremiyor! TechInside. https://www.techinside.com/yapay-zeka-bu-isi-beceremiyor.

Broussard, M., Diakopoulos, N., Guzman, A. L., Abebe, R., Dupagne, M. ve Chuan, C.-H. (2019). Artificial intelligence and journalism. Journalism & Mass Communication Quarterly, 96(3), 673–695. https://doi.org/10.1177/1077699019859901.

Carlson, M. (2015). The robotic reporter: Automated journalism and the redefinition of labor, compositional forms, and journalistic authority. Digital Journalism, 3(3), 416–431. https://doi.org/10.1080/21670811.2014.976412.

Çavuş, S. (2024). Ekonomi Haberciliğinde Yapay Zekâ Kullanımı: Bloomberg News Örneği, 17-29, Yapay Zekâ Çağında Medya, Kültür ve İletişim Üzerine Güncel Araştırmalar, ed. Şakir Eşitti ve Serhat Çoban, Paradigma Akademi.

Buchanan, T. (2023, 28 Ağustos). Dispatch pauses AI sports writing program. Axios. https://www.axios.com/local/columbus/2023/08/28/dispatch-gannett-ai-newsroom-tool.

CBSNews. (2023, 26 Ocak). CNET's decision to write stories with AI backfires. CBS News. https://www.cbsnews.com/sanfrancisco/news/cnets-decision-to-write-stories-with-ai-backfires/.

Cebre, A. (2016). Hukuka uygunluk nedeni olarak haber verme hakkı. Uyuşmazlık Mahkemesi Dergisi, (7), 287-319.

Christian, J. (2023, 29 Ocak). CNET's article-writing AI is already publishing very dumb errors. Futurism. https://futurism.com/cnet-ai-errors.

Avrupa İnsan Hakları Mahkemesi (AİHM). (2002). Colombani ve Diğerleri/Fransa (B. No: 51279/99, 25 Haziran 2002). https://hudoc.echr.coe.int/eng?i=001-60532 (Erişim Tarihi: 27 Ağustos 2026).

Darı, Abdülhakim Bahadır - Koçyiğit, Ahmet. (Eylül 2024). Yapay Zekâ ve Etik: Yeni Medyanın Dönüşümünde Sorumluluk ve Sınırlar. İletişim ve Toplum Araştırmaları Dergisi, 4/2), 246-261. https://doi.org/10.59534/jcss.1492948.

Davis, W. (2023, 31 Ekim). Microsoft AI inserted a distasteful poll into a news report about a woman's death. The Verge. https://www.theverge.com/2023/10/31/23940298/ai-generated-poll-guardian-microsoft-start-news-aggregation.

Dost, S. (2023). Yapay zekâ ve ifade özgürlüğü. Dicle Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 28(49), 299–328.

Edwards, B. (2023, 31 Ekim). Inserted AI-generated Microsoft poll about woman's death rankles The

Guardian. Ars Technica. https://arstechnica.com/information-technology/2023/10/inserted-ai-generated-microsoft-poll-about-womans-death-rankles-the-guardian.
Graefe, A. (2016). Guide to automated journalism. Tow Center for Digital Journalism, Columbia University. https://doi.org/10.7916/D80G3XDJ.
Harrison Dupre, M. (2023, 27 Kasım). Sports Illustrated published articles by fake, AI-generated writers. Futurism. https://futurism.com/sports-illustrated-ai-generated-writers.
Harrington, A. (2025, 20 Mayıs). "Summer reading list" with AI-generated titles of books that don't exist runs in Chicago Sun-Times. CBS News. https://www.cbsnews.com/chicago/news/summer-reading-ai-generated-titles-chicago-sun-times/.
Koebler, J. (2025, May 20). Chicago Sun-Times prints AI-generated summer reading list with books that don't exist. 404 Media. https://www.404media.co/chicago-sun-times-prints-ai-generated-summer-reading-list-with-books-that-dont-exist/.
Avrupa İnsan Hakları Mahkemesi (AİHM). (1986). Lingens/Avusturya (B. No: 9815/82, 8 Temmuz 1986). https://hudoc.echr.coe.int/eng?i=001-57523, (Erişim Tarihi: 27 Ağustos 2026).
NewsLabTurkey. (2023, 24 Nisan). Yapay zekâ haber yazmaya kalkarsa. https://www.newslabturkey.org/2023/04/24/yapay-zeka-haber-yazmaya-kalkarsa.
RiskYZ. (2023, 29 Temmuz). Gannett'in yerel spor haberlerinde kullandığı yapay zekâ aracının hatalı ve eksik içerikler üretmesi nedeniyle durdurulması (Vaka No. RISKYZ-2023-00122). https://www.riskyz.org/cases/RISKYZ-2023-00122.
Rose, T., & Bucci, N. (2023, 26 Ekim). Woman found dead at St Andrew's school in Sydney identified as water polo coach Lilie James. The Guardian. https://www.theguardian.com/australia-news/2023/oct/26/womans-body-found-at-central-sydney-school-as-police-investigate-suspicious-death.
Salam, E. (2023, 28 Kasım). Sports Illustrated accused of publishing articles written by AI. The Guardian. https://www.theguardian.com/media/2023/nov/28/sports-illustrated-ai-writers.
Sarı, E. (2025). Sosyal Medyada Dezenformasyonla Mücadelede Yapay Zekâ: Olanaklar ve Sınırlılıklar. Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 67, 49-61. https://doi.org/10.53568/yyusbed.1583326
Singil, N.(2022). Yapay Zekâ ve İnsan Hakları. Public and Private International Law Bulletin, 42(1), 121-158. https://doi.org/10.26650/ppil.2022.42.1.970856
Sonni, A. F., Hafied, H., Irwanto, I., & Latuheru, R. (2024). Digital newsroom transformation: A systematic review of the impact of artificial intelligence on journalistic practices, news narratives, and ethical challenges. Journalism and Media, 5(4), 1554–1570. https://doi.org/10.3390/journalmedia5040097.
Strauss, B., & Sommer, W. (2023, 28 Kasım). Sports Illustrated's use of AI infuriates a staff already in turmoil. The Washington Post. https://www.washingtonpost.com/sports/2023/11/28/sports-illustrated-ai-articles.
Tenore, H., & Thompson, P. (2023, 1 Kasım). Microsoft under fire over AI-generated poll about death of 21-year-old woman on its news platform. Business Insider. https://www.businessinsider.com/microsoft-under-fire-ai-generated-poll-death-woman-guardian-2023-11.
Türkiye Cumhuriyeti Anayasası, https://www.mevzuat.gov.tr/
Yünlü, S. (2024). Üretici Yapay Zekâ Kaynaklı Norm ve Kişi Bazlı Hukuki Sorumluluk. Adalet Dergisi, 72, 501-42. https://doi.org/10.57083/adaletdergisi.1484067.
5187 sayılı Basın Kanunu, https://www.mevzuat.gov.tr/

ALTINCI SINIF ÖĞRENCİLERİNİN ÇARPANLAR VE KATLAR PROBLEMLERİNİ ÇÖZME SÜREÇLERİNDE YAPAY ZEKA İLE ETKİLEŞİMLERİNİN İNCELENMESİ

Halime KURT
Bursa Uludağ University, Institue of Educational Sciences , Department of Mathematics Education, Bursa, Turkey
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0009-2015-7930
Prof. Dr. Gül Kaleli Yılmaz
Bursa Uludag University, Faculty of Education, Department of Mathematics Education, Bursa,Turkey
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-8567-3639

ÖZET
Bu araştırmanın amacı, ortaokul 6. sınıf öğrencilerinin Çarpanlar ve Katlar ünitesine yönelik matematik problemlerini çözerken ChatGPT ve Gemini gibi üretken yapay zekâ araçları ile kurdukları etkileşimleri incelemek ve bu etkileşimlerin problem çözme süreçlerine yansımalarını ortaya koymaktır. Bu çalışma, öğrencilerin yapay zeka ile problem çözme süreçlerini ayrıntılı incelemek amacıyla nitel bir durum çalışması olarak tasarlanmıştır. Çalışma grubunu 2025–2026 eğitim-öğretim yılında öğrenim gören 20 altıncı sınıf öğrencisi oluşturmaktadır. Veriler; çarpanlar ve katlar konusuna yönelik hazırlanan matematik problem setleri, öğrencilerin yapay zekâ araçlarıyla gerçekleştirdikleri sohbet kayıtlarıve ayrıca öğrencilerle yapılan yarı yapılandırılmış görüşmelerden elde edilmiştir. Toplanan veriler temalar oluşturularak içerik analizi tekniğiyle değerlendirilmiştir. Bulgular, öğrencilerin yapay zekâyı en çok problem çözme sürecinde zorlandıkları durumlarda bir öğrenme yardımcısı olarak kullandıklarını göstermektedir. Öğrencilerin önemli bir kısmı yapay zekânın sunduğu adım adım açıklamaların öğrenmelerini desteklediğini belirtirken, bazı öğrencilerin ise yapay zekâ tarafından sunulan çözümleri sorgulamadan doğrudan kullandıkları belirlenmiştir. Araştırma sonuçları, yapay zekânın öğrencilerin problem çözme motivasyonlarını ve öz yeterlik algılarını olumlu yönde etkileyebildiğini; ancak zaman zaman öğrencilerin seviyelerinin üzerinde çözüm yolları sunabilmesi ve hatalı bilgiler üretebilmesi nedeniyle eleştirel değerlendirme becerilerinin önem kazandığını ortaya koymaktadır. Sonuç olarak yapay zekâ destekli öğrenme ortamlarının matematik eğitiminde önemli fırsatlar sunduğu, ancak bu süreçlerin öğretmen rehberliğinde ve eleştirel düşünmeyi destekleyen bir yaklaşımla yürütülmesi gerektiği söylenebilir.
***Anahtar Kelimeler**: ChatGPT, Gemini, matematik eğitimi, yapay zekâ etkileşim yetkinliği, Bloom Taksonomisi, istem stratejileri, çözüm doğrulama, sosyobilişsel çatışma, ortaokul öğrencileri.*

INVESTIGATION OF THE INTERACTION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE WITH SIXTH-GRADE STUDENTS IN THEIR PROCESS OF SOLVING FACTORS AND MULTIPLES PROBLEMS

ABSTRACT
The purpose of this study is to examine the interactions of sixth-grade middle school students with generative artificial intelligence tools such as ChatGPT and Gemini while solving mathematics problems related to the 'Factors and Multiples' unit, and to reveal the reflections of these interactions on their problem-solving processes. This study was designed as a qualitative case study to investigate students' problem-solving processes with artificial

intelligence in detail. The study group consists of 20 sixth-grade students studying in the 2025–2026 academic year. The data were obtained from mathematics problem sets prepared for the factors and multiples topic, chat records of students with artificial intelligence tools, and semi-structured interviews conducted with the students. The collected data were evaluated using the content analysis technique by creating themes. The findings show that students use artificial intelligence most as a learning assistant in situations where they face difficulties in the problem-solving process. While a significant portion of the students stated that the step-by-step explanations provided by artificial intelligence supported their learning, it was determined that some students directly used the solutions offered by artificial intelligence without questioning them. The results of the research reveal that artificial intelligence can positively affect students' problem-solving motivation and self-efficacy perceptions; however, critical evaluation skills gain importance because artificial intelligence can occasionally present solution paths above students' levels and produce erroneous information. In conclusion, it can be said that artificial intelligence-supported learning environments offer significant opportunities in mathematics education, but these processes should be carried out under teacher guidance and with an approach that supports critical thinking.

Keywords: ChatGPT, Gemini, mathematics education, artificial intelligence interaction competence, Bloom's Taxonomy, prompt strategies, solution verification, socio-cognitive conflict, middle school students.

GİRİŞ

Yapay zekâ (YZ) teknolojileri, 21. yüzyılın en önemli teknolojik gelişmelerinden biri olarak eğitim sistemlerini önemli ölçüde etkilemekte ve öğrenme-öğretme süreçlerinde yeni fırsatlar sunmaktadır (Tekin ve Ciğerci, 2025). İnsana özgü olduğu düşünülen öğrenme, akıl yürütme ve karar verme gibi süreçleri gerçekleştirebilen sistemlerin geliştirilmesini amaçlayan yapay zekâ; doğal dil işleme, görsel verileri analiz etme ve karmaşık problemlerle çözüm üretme gibi geniş bir çalışma alanı kapsamaktadır (Hacıoğlu Seven ve Erümit, 2025). Yapay zekâ kavramının temelleri Alan Turing'in 1950 yılında ortaya koyduğu çalışmalara kadar uzanmakta, kavramın kendisi ise ilk kez 1956 yılında Dartmouth Konferansı'nda tanımlanmaktadır (Demircioğlu vd., 2024; Hacıoğlu Seven ve Erümit, 2025). Özellikle Kasım 2022'de ChatGPT'nin kullanıma sunulmasının ardından üretken yapay zekâ araçları eğitim alanında yaygınlaşmış ve öğrenme süreçlerini destekleyen önemli araçlar olarak görülmeye başlanmıştır (Marangoz, 2024; Wardat vd., 2023).

Matematik eğitimi, yapay zekâ uygulamalarının etkisinin en belirgin şekilde gözlemlendiği alanlardan biridir (Karabıyık, 2024). Matematik öğretiminin temel amaçlarından biri, öğrencilerin analitik düşünme becerilerini geliştirmek ve günlük yaşamda karşılaştıkları problemlere matematiksel çözümler üretebilmelerini sağlamaktır (Nayıroğlu ve Tutak, 2024). Ancak matematiğin soyut yapısı ve öğrencilerin bu derse yönelik geliştirebildikleri kaygı düzeyleri, öğrenme sürecini zaman zaman zorlaştırabilmektedir (Karabacak ve Bilgin, 2025). Bu noktada yapay zekâ araçları, bireysel öğrenme ihtiyaçlarına uygun içerikler sunabilmesi, anında geri bildirim verebilmesi ve karmaşık matematiksel kavramları farklı yollarla açıklayabilmesi sayesinde önemli bir destek mekanizması oluşturmaktadır (Marangoz, 2024; Tekin ve Ciğerci, 2025). Son yıllarda yapılan çalışmalar, matematik eğitiminde yapay zekâ kullanımına yönelik araştırmaların hızla arttığını ve bu araştırmaların büyük ölçüde öğrencilerin bilişsel gelişimleri üzerine yoğunlaştığını göstermektedir (Demircioğlu vd., 2024). ChatGPT ve Gemini gibi büyük dil modelleri matematik eğitiminde yalnızca sonuç üreten araçlar olarak değil, öğrencilerin akıl yürütme becerilerini geliştiren birer öğrenim yoldaşı

şeklinde de ele alınmaktadır. (Büyükbayram vd., 2025; Karabıyık, 2024). Bu araçlar öğrencilerin anlamakta zorlandıkları matematiksel kavramlara ilişkin açıklamalar sunabilmekte, farklı çözüm yolları önerebilmekte ve öğrencilerin kendi çözüm süreçlerini sorgulamalarına yardımcı olabilmektedir (Hacıoğlu Seven ve Erümit, 2025; Sarıkaya ve İnci Kuzu, 2026). Araştırmalar, yapay zekâ kullanımının öğrenci motivasyonunu artırabildiğini, bağımsız öğrenmeyi desteklediğini ve bazı matematiksel kavramların öğrenilmesini kolaylaştırdığını ortaya koymaktadır (Büyükbayram vd., 2025; Tekin ve Ciğerci, 2025). Bununla birlikte yapay zekâ sistemlerinin matematiksel performanslarının sürekli gelişmekte olduğu ve yeni modellerin önceki sürümlere göre daha başarılı sonuçlar üretebildiği belirtilmektedir (Sarıkaya ve İnci Kuzu, 2026).

Bununla birlikte yapay zekânın eğitimde kullanımı bazı sınırlılıkları ve riskleri de beraberinde getirmektedir. Üretken yapay zekâ araçlarının zaman zaman yanlış veya eksik bilgiler üretebilmesi, matematik gibi doğruluk ve tutarlılığın önemli olduğu alanlarda dikkatle değerlendirilmesi gereken bir durumdur (Kutlucan ve Seferoğlu, 2024; Hacıoğlu Seven ve Erümit, 2025). Yapılan çalışmalar, yapay zekâ sistemlerinin bazı matematik problemlerinde kavram yanılgıları yaşayabildiğini ve bağlamsal çıkarımlarda hata yapabildiğini göstermektedir (Ok vd., 2025). Bu nedenle öğrencilerin yapay zekâ tarafından sunulan bilgileri sorgulamaları, doğrulamaları ve eleştirel bir bakış açısıyla değerlendirmeleri önem taşımaktadır (Karabacak ve Bilgin, 2025; Tekin ve Ciğerci, 2025). Eğitim ortamlarında yapay zekânın etkili biçimde kullanılabilmesi için dijital okuryazarlık ve etik farkındalık becerilerinin geliştirilmesi gerekmektedir (Marangoz, 2024). Bu bağlamda, eğitim politikalarında yapay zekâ okuryazarlığının ve dijital yeterliklerin kazanım haline getirilmesi, öğrencilerin teknolojiyle kurduğu bu kritik bağın niteliğini doğrudan belirlemektedir (Yağan, 2025).

Ortaokul dönemi, öğrencilerin matematiksel akıl yürütme becerilerinin geliştiği ve temel matematiksel kavramların yapılandırıldığı önemli bir süreçtir. Bu süreçte yer alan Çarpanlar ve Katlar konusu; bölünebilme, asal sayılar, ortak kat ve ortak bölen gibi ilerleyen yıllardaki matematik öğrenmelerine temel oluşturan kavramları içermektedir. Dolayısıyla öğrencilerin bu konuya ilişkin problem çözme süreçlerinin incelenmesi, matematiksel düşünmenin gelişimini anlamak açısından önemlidir.

Literatürde yapay zekâ ve matematik eğitimi üzerine yapılan çalışmaların sayısı son yıllarda önemli ölçüde artmış olmasına rağmen, araştırmaların büyük kısmının yükseköğretim öğrencileri, öğretmen adayları veya öğretmenler üzerinde yürütüldüğü görülmektedir (Demircioğlu vd., 2024; Karabacak ve Bilgin, 2025). Mevcut çalışmalar incelendiğinde, ortaokul düzeyindeki öğrencilerin yapay zekâ ile etkileşim örüntülerini ve problem çözme sırasında bu teknolojilerden yararlanma biçimlerini konu alan araştırmaların yetersizliği göze çarpmaktadır (Demircioğlu vd., 2024). Özellikle öğrencilerin yapay zekâya yönelttikleri istemlerin niteliği, yapay zekâdan aldıkları yanıtları nasıl değerlendirdikleri ve bu yanıtları doğrulamak için hangi stratejileri kullandıkları konusunda yeterli ampirik bulgu bulunmamaktadır (Demircioğlu vd., 2024; Karabacak ve Bilgin, 2025). Ayrıca öğrencilerin gerçek sohbet kayıtlarının incelenmesine dayanan araştırmaların oldukça sınırlı olması, son yıllarda önem kazanan yapay zekâ etkileşim yetkinliğinin nasıl geliştiğine ilişkin bilgi eksikliğine yol açmaktadır (Demircioğlu vd., 2024). Bu nedenle öğrencilerin gerçek etkileşim dökümlerinin ve görüşlerinin birlikte incelenmesi, literatürdeki önemli bir boşluğun doldurulmasına katkı sağlayabilir.

2024 yılında yürürlüğe giren Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli, öğrencilerin dijital becerilerini güçlendirmeyi, teknolojiyi bilinçli kullanmalarını desteklemeyi ve problem çözme yeterliklerini geliştirmeyi hedefleyen bir eğitim anlayışını benimsemektedir (Şahinkaya ve Özcan, 2025; MEB, 2024). Bu yaklaşım doğrultusunda öğrencilerin matematiksel problem çözme

süreçlerinde yapay zekâ araçlarını nasıl kullandıklarının incelenmesi önem kazanmaktadır. Özellikle ortaokul düzeyinde gerçekleştirilecek çalışmaların, öğretmenlere ve program geliştiricilere yol gösterici bilgiler sunması beklenmektedir.

Bu araştırmanın amacı, 6. sınıf öğrencilerinin çarpanlar ve katlar konusundaki matematik problemlerini çözerken ChatGPT ve Gemini gibi büyük dil modelleriyle kurdukları etkileşimleri incelemek ve bu etkileşimlerin problem çözme süreçlerine yansımalarını ortaya koymaktır. Bu kapsamda öğrencilerin yapay zekâya yönelttikleri istemler, verilen yanıtları değerlendirme biçimleri, doğrulama stratejileri ve bu sürece ilişkin görüşleri analiz edilecektir. Ayrıca yapay zekâ kullanımının öğrencilerin motivasyon ve öz güvenlerine etkisi de değerlendirilecektir. Araştırmanın, ortaokul düzeyinde yapay zekâ destekli matematik öğrenimine ilişkin literatürdeki sınırlı sayıdaki çalışmaya katkı sağlaması ve eğitim uygulamalarına yönelik öneriler sunması beklenmektedir.

Bu çalışma doğrultusunda aşağıdaki araştırma sorularına yanıt aranacaktır:

1. 6. sınıf öğrencilerinin çarpanlar ve katlar problemlerinde yapay zekâ araçlarını kullanmaya başladıkları andaki ilk eğilimleri ve yaklaşımları nelerdir?

2. Öğrenciler, yapay zekâ tarafından üretilen çözüm açıklamalarını yorumlama ve doğruluğunu sınama sürecinde hangi yaklaşımları benimsemektedir?

3. Yapay zekâ ile kurulan etkileşim süreci, öğrencilerin problem çözme sırasındaki motivasyon ve öz güven gibi duyuşsal durumlarını nasıl etkilemektedir?

4. Öğrencilerin gerçek etkileşim dökümleri ile görüşmelerde dile getirdikleri algıları arasında nasıl bir tutarlılık bulunmaktadır?

KURAMSAL VE KAVRAMSAL ÇERÇEVE

Bu araştırma; 6. sınıf öğrencilerinin Çarpanlar ve Katlar konusundaki matematik problemlerini çözerken yapay zekâ araçları ile kurdukları etkileşimi; bilişsel süreçlerin hiyerarşisi, matematik öğretiminde üretken yapay zekâ entegrasyonu ve dijital çağın getirdiği yeni etkileşim yetkinlikleri temellerine dayandırmaktadır.

Bilişsel Süreçlerin Yapılandırılması: Bloom Taksonomisi

Matematik eğitiminde öğrenme çıktılarının derinliğini belirlemek ve öğrenci performansını hiyerarşik bir düzende analiz etmek amacıyla Bloom Taksonomisi temel bir rehber olarak kabul edilmektedir (Ok vd., 2025). Taksonomi, zihinsel süreçleri hatırlama ve anlamadan başlayarak; uygulama, analiz, değerlendirme ve yaratma gibi üst düzey düşünme becerilerine doğru sınıflandırır (Demircioğlu vd., 2024). Yapay zekâ araçlarının matematik eğitimindeki etkisini inceleyen çalışmaların önemli bir bölümünün doğrudan bu bilişsel boyuta odaklandığı görülmektedir (Demircioğlu vd., 2024).

Araştırmalar, üretken yapay zekâ modellerinin özellikle temel aritmetik ve kavramsal açıklama gerektiren alt bilişsel düzeylerde (hatırlama/anlama) yüksek doğruluk sergilediğini; ancak çok adımlı mantıksal muhakeme ve soyutlama gerektiren analiz ve değerlendirme basamaklarında bağlamsal hatalar yapabildiğini göstermektedir (Ok vd., 2025; Sarıkaya ve İnci Kuzu, 2026). Bu durum, problemin bilişsel karmaşıklığı arttıkça öğrencinin yapay zekâyı bir yapı iskelesi olarak kullanma stratejilerini anlamlandırmayı gerekli kılmaktadır.

Matematik Öğretiminde Yenilikçi Teknoloji Kullanımı ve Yapay Zekâ Araçları

Matematik eğitimi, teknolojinin sağladığı anında geri bildirim ve kişiselleştirilmiş öğrenme ortamları sayesinde geleneksel kâğıt-kalem sınırlarını aşmaktadır (Tekin ve Ciğerci, 2025). ChatGPT ve Gemini gibi üretken yapay zekâ araçları, günümüz sınıflarında yalnızca bir hesaplama aracı değil, öğrencilerin anlamlandırma süreçlerini destekleyen bir öğrenme ortağı olarak konumlanmaktadır (Karabıyık, 2024; Wardat vd., 2023). Bu araçların çok modlu (multimodal) özellikleri sayesinde öğrenciler, problemleri metin olarak girebildikleri gibi

görseller yoluyla da sisteme yükleyebilmektedir; bu durum dijital araçların erişilebilirliğini artırarak öğrencilerin sürece yönelik motivasyonlarını olumlu yönde etkilemektedir (Hacıoğlu Seven ve Erümit, 2025; Tekin ve Ciğerci, 2025).Teknoloji destekli bu yeni ortamda yapay zekâ, karmaşık matematiksel kavramları öğrencinin bilişsel düzeyine göre basitleştirerek sunma potansiyeline sahiptir (Marangoz, 2024). Ancak bu sürecin işlevselliği, öğrencinin aracı pasif bir cevap anahtarı olarak mı yoksa bilişsel zorlanmalarını aşmasını sağlayan aktif bir ortak olarak mı deneyimlediğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Karabacak ve Bilgin, 2025).

Yapay Zekâ Etkileşim Yetkinliği ve İstem Stratejileri

Yapay zekânın eğitim süreçlerine dahil olmasıyla birlikte, literatürde Yapay Zekâ Etkileşim Yetkinliği olarak tanımlanan yeni bir beceri alanı öne çıkmıştır (Demircioğlu vd., 2024). Bu yetkinlik, öğrencinin yapay zekâdan verimli ve doğru sonuç alabilmek için kullandığı istem (prompt) stratejilerini ve sistemle kurduğu diyalog yönetimini kapsamaktadır (Hacıoğlu Seven ve Erümit, 2025).Matematik eğitimi odaklı çalışmalar, kullanıcıların yapay zekâya yönelttikleri ilk soruların niteliğinin, problemin çözüm sürecindeki bilişsel rotayı belirlediğini göstermektedir (Tapan-Broutin, 2023). Özellikle soyut ve operasyonel becerilerin iç içe geçtiği süreçlerde, öğrencinin problemi kendi kelimeleriyle yeniden ifade ederek sorması veya doğrudan yanıt yerine çözüm için ipucu talep etmesi, üst düzey bir dijital okuryazarlık ve matematiksel muhakeme göstergesi olarak kabul edilmektedir (Demircioğlu vd., 2024).

Çözüm Doğrulama ve Eleştirel Denetim

Üretken yapay zekâ modellerinin, özellikle Çarpanlar ve Katlar gibi hiyerarşik aritmetik ilişkiler barındıran konularda kavram yanılgıları yaşma veya uydurma bilgi üretme riski, öğrencinin çözüm doğrulama becerisine sahip olmasını hayati bir gereklilik haline getirmektedir (Ok vd., 2025; Sarıkaya ve İnci Kuzu, 2026). Somut işlemlerden soyut işlemlere geçiş aşamasında olan 6. sınıf öğrencilerinin yapay zekâ çıktılarını eleştirel bir süzgeçten geçirmesi, algoritmik şüphe sergilemesi ve gerektiğinde sisteme müdahale ederek hatayı düzeltmesi, teknolojinin bilişsel bir otorite olmasından ziyade bir tartışma nesnesine dönüşmesini sağlar (Karabacak ve Bilgin, 2025).Bu süreç, öğrencinin kendi zihinsel şeması ile yapay zekânın sunduğu veri arasındaki uyuşmazlığı yönetme biçimidir ve öğrencinin matematiksel öz yeterliğini güçlendiren en önemli unsurlardan biridir (Nazaretsky vd., 2025). Yapay zekânın sunduğu adım adım açıklamaların, öğrencinin sorunun mantığını anlamasını kolaylaştırarak bağımsız problem çözme öz güvenini desteklemesi, teknolojinin akademik bağımsızlığı besleyen dinamik bir yol arkadaşına dönüşebileceğini göstermektedir (Tekin ve Ciğerci, 2025).

YÖNTEM

Araştırma Deseni

Bu araştırma, ortaokul 6. sınıf öğrencilerinin matematik problemlerini çözerken ChatGPT ile kurdukları etkileşimleri incelemeyi amaçlayan nitel bir çalışmadır. Bu çalışmanın metedolojik alt yapısını, nitel araştırma geleneği içerisinde yer alan durum çalışması deseni oluşturmaktadır.

Durum çalışması, belirli bir olgunun kendi gerçek yaşam bağlamı içerisinde ayrıntılı ve bütüncül biçimde incelenmesine imkân tanıyan bir nitel araştırma yaklaşımıdır (Yıldırım & Şimşek, 2018; Creswell, 2017). Bu çalışmada ele alınan durum, öğrencilerin çarpanlar ve katlar konusundaki matematik problemlerini çözerken ChatGPT ile kurdukları etkileşim sürecidir. Öğrencilerin bu süreçte ChatGPT'yi nasıl kullandıkları ve problem çözme süreçlerini nasıl yapılandırdıkları kendi doğal öğrenme ortamı içerisinde incelendiği gerekçesiyle durum çalışması yaklaşımı benimsenmiştir.

Çalışma Grubu

Araştırmanın çalışma grubu 2025–2026 eğitim-öğretim yılında öğrenim gören 20 ortaokul 6.

sınıf öğrencisinden oluşmaktadır. Araştırmaya dahil edilecek katılımcıların belirlenmesinde, amaçlı örnekleme türleri arasında yer alan ölçüt örnekleme tekniğinden yararlanılmıştır. Araştırmaya katılımda öğrencilerin 6. sınıf düzeyinde öğrenim görüyor olmaları ve çalışmaya gönüllü olmaları ölçüt olarak belirlenmiştir. Katılımcılar Ö1, Ö2, ... Ö20 şeklinde kodlanmıştır.

Veri Toplama Araçları

Araştırmada üç farklı veri kaynağı kullanılmıştır: matematik problem seti, ChatGPT etkileşim kayıtları ve yarı yapılandırılmış görüşmeler.

Matematik Problem Seti

Çarpanlar ve katlar konusuna yönelik problemler öğretim programına uygun şekilde hazırlanmıştır. Soruların farklı bilişsel düzeyleri temsil etmesine dikkat edilmiş ve içerik geçerliliği açısından alan uzmanlarının görüşlerine başvurulmuştur. Problem seti Bloom Taksonomisi temel alınarak oluşturulmuştur (Bloom, 1956).

ChatGPT Etkileşim Kayıtları

Öğrencilerin problem çözme sürecinde ChatGPT ile gerçekleştirdikleri yazılı etkileşimler araştırmanın temel veri kaynağını oluşturmuştur. Bu kayıtlar öğrencilerin problem çözme sürecindeki soru sorma biçimlerini, yönlendirme stratejilerini ve çözüm süreçlerini incelemek amacıyla kullanılmıştır.

Yarı Yapılandırılmış Görüşmeler

Öğrencilerin ChatGPT kullanımına ilişkin deneyimlerini ve öğrenme sürecine yönelik görüşlerini belirlemek amacıyla yarı yapılandırılmış görüşmeler yapılmıştır.

Uygulama Süreci

Araştırma süreci dört aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada problem seti hazırlanmıştır. İkinci aşamada öğrencilerden problemleri ChatGPT kullanarak çözmeleri istenmiştir. Bu süreçte öğrencilerin ChatGPT ile kurdukları tüm etkileşimler kayıt altına alınmıştır. Üçüncü aşamada sohbet kayıtları araştırmacı tarafından düzenlenmiş ve analiz için hazırlanmıştır. Son aşamada öğrencilerle yarı yapılandırılmış görüşmeler gerçekleştirilerek araştırma süreci hakkında görüşleri alınmıştır.

Verilerin Analizi

Araştırma verilerinin analizinde, yöntemsel tutarlılığı sağlamak amacıyla yönlendirici betimsel analiz ve tümevarımsal içerik analizi birlikte kullanılmıştır. Birinci aşamada; öğrencilerin yapay zekâ kullanım eğilimleri, etkileşim motivasyonları ve güven düzeyleri; Bloom Taksonomisi, Yapay Zekâ Etkileşim Yetkinliği, istem stratejileri ve çözüm doğrulama gibi kavramsal, hiyerarşik ve bilişsel süreç alanları temelinde betimsel analize tabi tutulmuş; elde edilen bulgular frekanslar ve doğrudan alıntılarla sunulmuştur. İkinci aşamada ise, öğrencilerin yapay zekâ sohbet dökümleri satır satır incelenerek, hazır kavramsal çerçeveler dışında kalan ve doğrudan verilerden doğan özgün öğrenci davranışları (samimi hitap biçimleri, sisteme karşı geliştirilen bilişsel müzakereler ve direnç kodları) tümevarımsal içerik analiziyle çözümlenmiştir. Böylece hem literatürdeki teorik ve yöntemsel yapıların öğrencilerdeki yansımaları betimlenmiş hem de gerçek dökümlerdeki dinamik etkileşim örüntüleri keşfedilmiştir.

Geçerlik ve Güvenirlik

Çalışmanın inandırıcılık ve tutarlılık düzeyini yükseltmek hedefiyle, veri toplama araçları hazırlanırken konu uzmanlarının değerlendirmelerine başvurulmuştur. Ayrıca veri analizi süreci sistematik bir biçimde yürütülmüş ve araştırma süreci ayrıntılı şekilde betimlenmiştir. Farklı veri kaynaklarının birlikte kullanılması yoluyla veri çeşitlemesi sağlanmıştır. Bu durum araştırmanın inandırıcılığını ve tutarlılığını destekleyen bir unsur olarak değerlendirilmiştir (Miles & Huberman, 1994).

BULGULAR

Altıncı sınıf düzeyindeki öğrencilerin "Çarpanlar ve Katlar" konusundaki matematiksel problemlerini çözerken yapay zekâ yazılımlarından (ChatGPT/Gemini) ne şekilde faydalandıklarına dair ortaya çıkan veriler; hiyerarşik 5 soruluk veri toplama aracı, 20 öğrenciyle (Ö1-Ö20) gerçekleştirilen yarı yapılandırılmış görüşmelerin nitel analiziyle ve son olarak ChatGPT ve Gemini sohbet dökümleriyle yapılandırılmıştır.

Soru Kağıtları Üzerinden Etkileşim Dağılımı

Öğrenci kağıtları üzerine düşülen el yazısı notlar (Örn: "Gemini kontrol etti", "Hepsini ChatGPT'ye sordum") ve çözüm yöntemlerinin analizi, yapay zekâ kullanımının sorunun bilişsel zorluk derecesine göre hiyerarşik bir artış gösterdiğini belgelemektedir.

Tablo 1. *Soruların Bilişsel Düzeylerine Göre Yapay Zekâ Kullanım Eğilimleri*

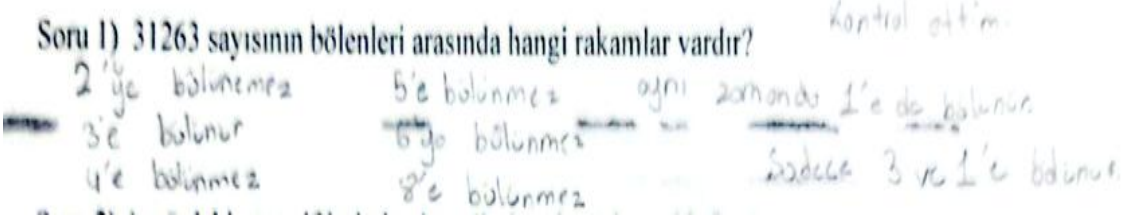
Soru No	Kazanım ve Bloom Düzeyi	YZ'ye Doğrudan Sorma (f)	Sadece Kontrol Ettirme (f)	Kendisi Çözen (f)
Soru 1	Bölünebilme Kuralları (Anlama)	12	3	5
Soru 2	Aralarında Asallık (Anlama)	4	7	9
Soru 3	Asal Çarpanlar (Uygulama)	6	2	12
Soru 4	EBOB Uygulaması (Analiz)	14	2	4
Soru 5	EKOK ve Muhakeme (Değerlendirme)	18	1	1

Not. N=20. f: Frekans.

Veriler, öğrencilerin %90'ının (f=18) üst düzey muhakeme ve görsel okuryazarlık gerektiren soruya (Soru 5) yapay zekâ ile cevap verdiğini ortaya koymaktadır. Dikkat çekici bir istisna olarak ***Ö20,*** *tüm süreci hiçbir yapay zekâ desteği almadan tamamlayan tek öğrencidir ve tam akademik bağımsızlık sergilemiştir.*

Soru 1 için yanıtlanan cevapların 12 tanesi doğrudur, 8tanesi ise yanlıştır. Burada özellikle yapay zekanın verdiği adım adım açıklayıcı işlemler göze çarpmaktadır. Aşağıda yapay zekanın verdiği yanıta dair bir örnek yer almaktadır.

Şekil 1: Yapay zeka adım adım çözüm örneği



Soru 2 için verilen cevapların hepsi doğrudur ve tüm öğrencilerin doğru cevapaldığı tek soru 2. sorudur. Bazı öğrenciler soruya ait açıklama paylaşırken bazıları ise hiç açıklamadan yalnızca işaretleme yapmışlardır. Aşağıda bir öğrenci örnek yanıtı yer almaktadır.

Şekil 2: Soruyu açıklayarak çözen öğrenci örneği

Soru 2) Aşağıdaki sayı çiftlerinden hangileri aralarında asaldır?

a) 17-45 b)22-40 c)36-27 d)45-63

17-45 aralarında asaldır çünkü ortak böleni tek 1'dir.

Soru 3 için 18 öğrenci doğru yanıt vermiştir fakat bazı yanıtlarda hiç işlem gösterilmeden direkt olarak sonuç yazılmıştır. Bu da yapay zekanın direkt olarak sonuç odaklı kullanıldığının zaman zaman bazı öğrenciler tarafından öğrenmek için bir basamak gibi görülmediğinin bir göstergesidir.

Şekil 3: Yapay zekanın verdiği yanıtı çözümüne bakmadan sonuca odaklanan öğrenci yanıtı örneği

Soru 3) 84 sayısının kaç tane asal çarpanı vardır?

3 tane asal çarpanı var.

Soru 4 için verilen cevaplardan 16 tanesi doğru iken diğer yanıtlar kısmen eksik ve hatalıdır.fakat bu soruda 6. sınıf düzeyinde "ritmik sayma" veya "çarpan listesi" ile çözülmesi beklenen soruların, yapay zekâ etkisiyle 8. sınıf (LGS hazırlık) düzeyindeki algoritmalarla çözüldüğü saptanmıştır, aşağıda örnekleri paylaşılmaktadır.

Şekil 4: Yapay zekanın sınıf ve kazanım düzeylerini göz ardı ederek cevapladığı soru örneği

Soru 4) 48 kg'lık ve 60 kg'lık iki çuval pirinç birbirine karıştırılmadan ve hiç artmayacak şekilde eşit boyutlardaki poşetlere her poşette eşit kütlede pirinç olacak şekilde doldurulacaktır. Bu iş için en az kaç poşet gerekir?

ChatGPT yardım aldın

$48 = 2^4 \times 3$

$60 = 2^2 \times 3 \times 5$

Ortak Çarpanlar

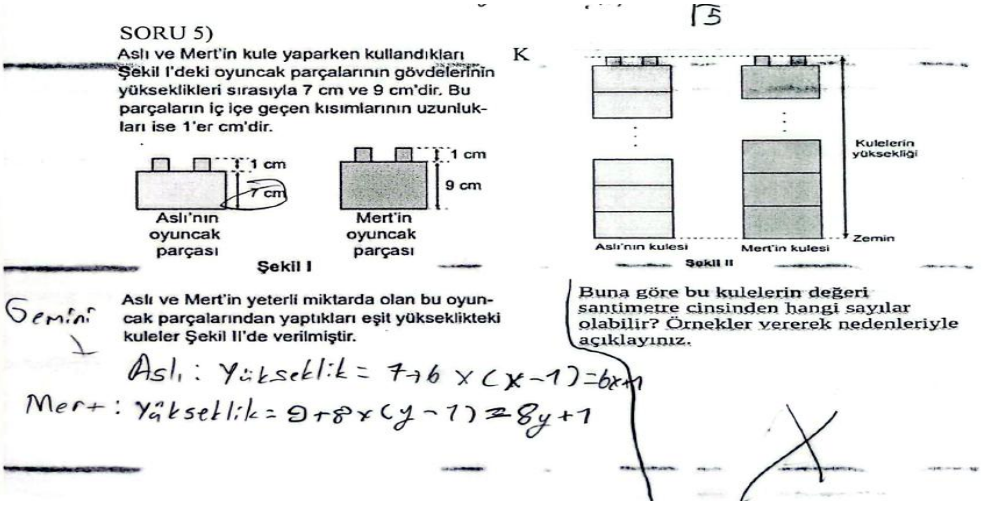
$2^2 \times 3 = 12$

48|12 4 — 60|12 5 — + — 9

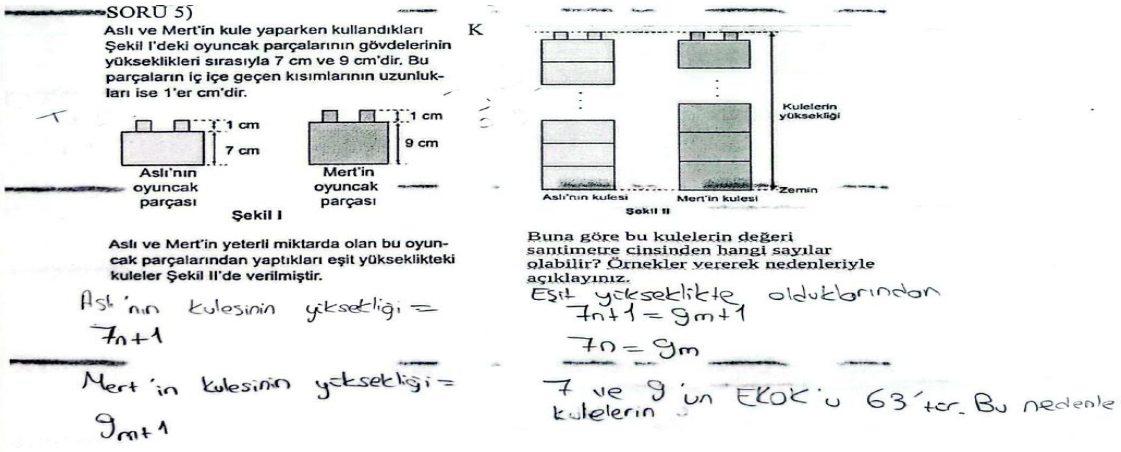
SORU 5)

Soru 5 için ise cevapların 4 tanesi tam olarak doğru iken çözüm sonundaki 1 ekleme detayı birçok cevapta eksik olarak bırakılmış ve yanıtın 63 olduğu yazılmıştır ayrıca soru kağıtlarının analizindeki en çarpıcı akademik bulgu, 6. sınıf müfredatında yer alan ancak öğrencilerin henüz işlemediği cebirsel ifade ve örüntü modelleme yöntemlerinin kağıtlara doğrudan yansımasıdır. Öğrenciler, kule yüksekliğini ifade ederken okulda henüz öğrenmedikleri an+b formundaki cebirsel ifadeleri kullanmışlardır. Aşağıda bunun bir örneği yer almaktadır.

Şekil 5: Yapay zekânın henüz işlenmemiş kazanımlar üzerinden yaptığı açıklma

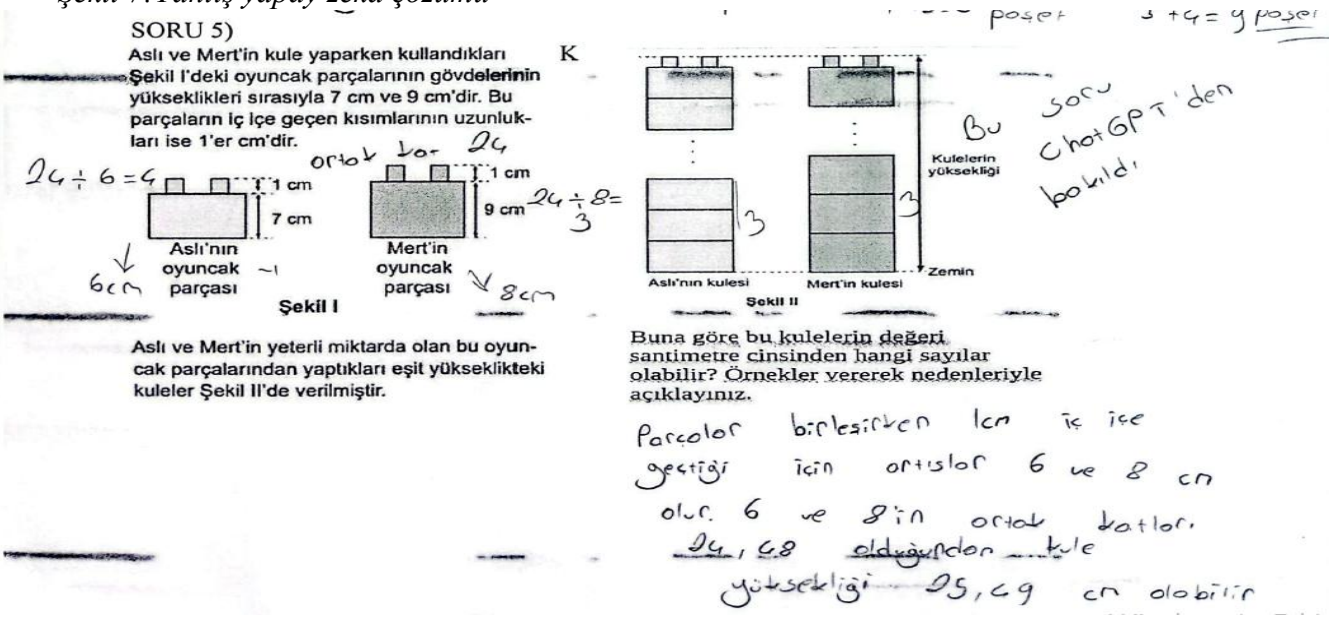


Şekil 6: Yapay zekanın henüz işlenmemiş kazanımlar üzerinden yaptığı açıklama

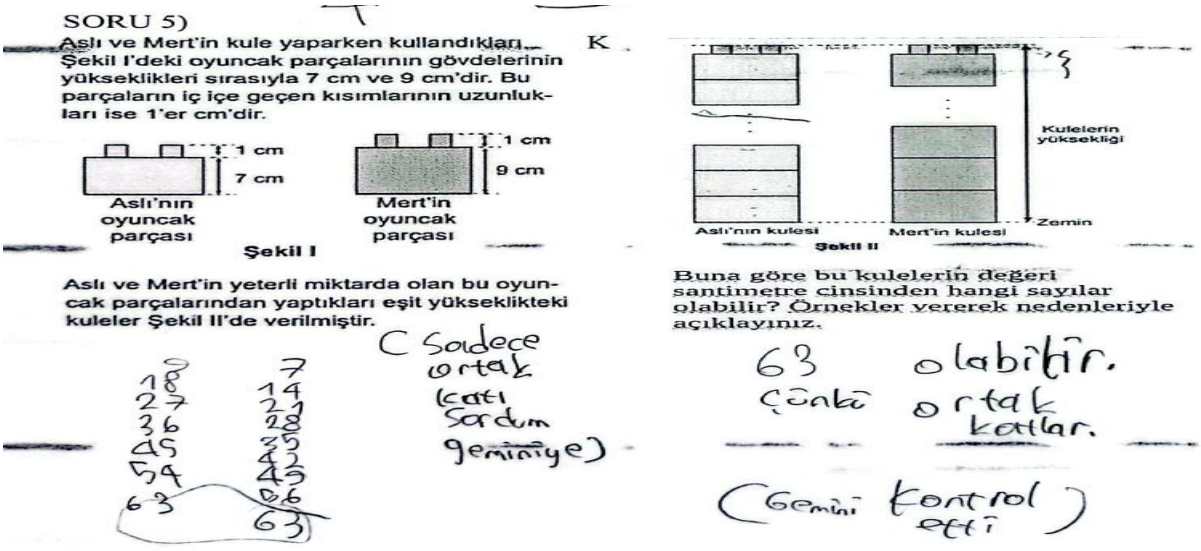


Bu *notlar, öğrencinin pedagojik hazırbulunuşluk seviyesinin üzerindeki bir matematiksel dili yapay zekâdan sorgusuzca aktardığını göstermektedir.Bazı öğrenciler ise yapay zekanın verdiği yanlış cevapları kontrol etmeden kağıda geçirmişlerdir.Aşağıda bunun örnekleri yer almaktadır.*

Şekil 7:Yanlış yapay zeka çözümü



Örneğin bu öğrenci cevabında bir eklemek yerine yapay zeka 1 eksilterek yanlış çözümü vermiş ve öğrenci de yanlış olduğunu anlamayarak şüphesiz güven belirtmiştir.
Şekil 8:Yapay zekanın yanlış kontrol yaptığı soru örneği



Burada ise öğrenci geminiye kontrol ettirdiği halde soruya 63+1 ekleme kısmını eksik bırakarak öğrenciyi yanlış yönlendirmiştir.
Öğrenci kağıtları ve dökümler, yapay zekâ çıktısının ne ölçüde "süzgeçten geçirildiğini" ortaya koymaktadır.Bazı öğrenciler, yapay zekânın sunduğu cebirsel dili anlamlandıramasa da doğrudan kağıda kopyalamışlardır. Hatta bazı öğrenciler tüm sorular ChatGPT'den bakılmıştır diyerek not düşmüşlerdir kağıda. Öğrencilerin %55'i (f=11) yapay zekâya karşı "şüpheci" yaklaşmakta ve hataları yakalayabilmektedir. Ö20 gibi öğrencilerin sergilediği tam akademik bağımsızlık ise, teknoloji kullanımının bireysel öz-yeterlik algısına bağlı bir tercih olduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak; yapay zekâ 6. sınıf matematik eğitiminde öğrencilere "adım adım" yöntem gösteren bir asistan olarak işlev görürken; aynı zamanda müfredat dışı yöntemlerin sorgusuzca kopyalanması gibi pedagojik riskleri ve eleştirel düşünmeyi tetikleyen bir "sosyobilişsel çatışma" alanını beraberinde getirmektedir.

Yarı Yapılandırılmış Görüşme Analizleri

Bulgular; öğrencilerin teknolojiye yönelik motivasyonları, bilişsel süreçleri ve eleştirel değerlendirmelerini kapsayan üç ana tema altında, akademik bir derinlikle sunulmuştur.

Tema 1: Etkileşim Başlatma Motivasyonları ve Yöntemsel Yaklaşımlar

Öğrencilerin yapay zekâya yönelme süreçleri, geleneksel bir ödev yardımından ziyade, bilişsel bir engelle karşılaşıldığında devreye giren stratejik bir eğitim yardımcısı rolünde konumlandırılmaktadır. Görüşme verileri, öğrencilerin büyük çoğunluğunun (f=14) yapay zekâyı "anlama güçlüğü" yaşadıkları anlarda bir bilişsel iskele olarak tetiklediklerini göstermektedir. Bu yaş grubundaki öğrenciler için matematiksel kavramların (özellikle EBOB-EKOK) soyutluğu, onları teknolojinin sunduğu hızlı ve görsel destek mekanizmalarına itmektedir. Öğrencilerin %40'ı (f=8) karmaşık sözel veya görsel problemleri sisteme aktarırken metin yazmak yerine fotoğraf çekmeyi tercih ederek multimodal etkileşimi etkin bir şekilde kullanmıştır. Ayrıca, bazı öğrencilerin yapay zekâyı sadece öğrenmek için değil, kendi bilişsel süreçlerini denetlemek amacıyla bir "doğrulama mekanizması" (f=4) olarak konumlandırdıkları saptanmıştır. Bu durum, öğrencinin teknolojiye yönelik pragmatik ve sonuç odaklı yaklaşımını yansıtmaktadır.

Tablo 2. *Etkileşim Motivasyonları ve Veri Giriş Stratejileri (Görüşme Verileri)*

Kategori	Kod	f	Öğrenciler	Örnek Öğrenci İfadeleri (Görüşme Kayıtları)
Kullanım Tetikleyicileri	Bilişsel Zorlanma ve Anlayamama	14	Ö2, Ö4, Ö5, Ö6, Ö7, Ö8, Ö9, Ö10, Ö11, Ö12, Ö15, Ö17, Ö18, Ö19	"1. 4. ve 5.sorulari anlamdigim için chatgptye ihtiyaç duydum"."Soruyu anlayamadım için ve büyük geldiği için yardım istedim".
	Doğrulama ve Emin Olma İsteği	4	Ö1, Ö13, Ö14, Ö18	"soruya verdiğim cevabın yalnış olup olmadığını kontrol etmek için ChatGPT'ye ihtiyaç duydum"."çözemediğim veya emin olamadığım kısımlarda hızlıca doğrulamak için".
	Bilgi Eksikliği ve Unutma	3	Ö3, Ö4, Ö16	"bu konuyu eskiden işlemiştik ve şimdi konuyu unutmuştum"."yöntemlerini unutmuştum ama yine hatırladım".
Giriş Stratejisi	Multimodal Veri (Görsel) Aktarımı	8	Ö2, Ö3, Ö4, Ö5, Ö6, Ö8, Ö9, Ö12	"İlk olarak sorunun fotoğrafını çekip attım"."Anlamadığım sorunun fotoğrafını çekip... kısa kısa anlatmasını istedim".

Tema 2: Öğretimsel Destek Algısı ve Bilişsel Kazanımlar

Öğrencilerin yapay zekâ çıktısını nasıl anlamlandırdıkları, sistemin sunduğu "pedagojik dil" ile yakından ilişkilidir. Görüşmelerde öğrencilerin %45'i (f=9) yapay zekâyı bir "öğretmen" gibi gördüklerini ifade ederek teknolojiye insani bir öğreticilik rolü atfetmişlerdir. Yapay zekânın işlemleri "adım adım" (f=6) sunması, öğrencinin karmaşık problemleri daha küçük ve yönetilebilir parçalara ayırmasını sağlayarak bilişsel yükü dengelemektedir. Araştırmanın en dikkat çekici bulgularından biri, 14 öğrencinin yapay zekâ sayesinde sadece sonuca değil, "yönteme" odaklandıklarını belirtmeleridir. Bu, yapay zekânın matematik eğitiminde

kavramsal öğrenmeyi destekleme potansiyeline işaret eder. Ancak, öğrencilerin %25'i (f=5) yapay zekânın açıklamalarını "anlaşılmaz" veya "yetersiz" bulmuştur. Özellikle Ö11'in "tekrar sormama rağmen anlamadım" şeklindeki ifadesi, yapay zekânın pedagojik anlatımının her zaman öğrencinin hazırbulunuşluk düzeyine uygun olmadığını ve bazen bilişsel aşırı yüklenmeye yol açtığını kanıtlamaktadır.

Tablo 3. *Öğretimsel Destek ve Kazanım Türlerine İlişkin Görüşler (Görüşme Verileri)*

Kategori	Kod	f	Öğrenciler	Örnek Öğrenci İfadeleri (Görüşme Kayıtları)
Pozitif Anlamlandırma	Adım Adım Yapı İskeleleme	6	Ö1, Ö5, Ö10, Ö13, Ö18, Ö19	"işlemleri ise sırayla anlattığı için cevabı anlaşılır buldum"."İşlemleri adım adım göstermesi ve doğrudan çözümü öğretmesi çok faydalı oldu".
	Dijital Öğretmen Benzetmesi	9	Ö1, Ö3, Ö6, Ö8, Ö9, Ö11, Ö14, Ö16, Ö19	"Evet aynı öğretmen gibi anlattı cevapladı çözümünü verdi"."evet soruyu gayet uzun ve güzel şekilde açıkladı".
Bilişsel Engeller	Anlatım Yetersizliği ve Karmaşa	5	Ö2, Ö4, Ö11, Ö12, Ö15	"5. Yi hiç anlamdım gemini nedediğini anlamadım"."soru 1in anlatimini anlamadim tekrar tekrar sormama ragmen hala anlamadim".
Kazanım Niteliği	Süreç / Yöntem Odaklılık	14	Ö1, Ö5, Ö7, Ö8, Ö9, Ö11, Ö12, Ö13, Ö14, Ö15, Ö16, Ö17, Ö18, Ö19	"Ben hem cevabı öğrendim hem de yöntemi öğrendim"."sadece yöntemi öğrendim, soru sormadım".

Tema 3: Hata Denetimi, Sosyobilişsel Çatışma ve Eleştirel Değerlendirme

Öğrencilerin yapay zekâ çıktılarına karşı geliştirdikleri tutum, dijital okuryazarlık ve eleştirel düşünme becerileri arasındaki farkı ortaya koymaktadır. Görüşmelerde öğrencilerin yarısından fazlası (f=11) yapay zekânın "yanılabileceğinin" farkında olarak süreçte yer aldıkları görülmüştür. Bu durum, öğrencilerin yapay zekâyı mutlak bir otorite olarak görmediklerini, aksine denetlenmesi gereken bir araç olarak konumlandırdıklarını göstermektedir. Özellikle "Hata Denetimi ve Müdahale" kategorisi, öğrencilerin sistemle girdiği sosyobilişsel çatışmayı somutlaştırmaktadır. Ö14'ün "yanlış olduğunu düşünüp kavga ettim" beyanı, öğrencinin kendi zihinsel şeması ile yapay zekânın verisi arasındaki uyuşmazlığı çözmek için sosyal bir direnç ve bilişsel bir müzakere içine girdiğini kanıtlar. Ö18'in ise yapay zekânın hatasını bulup "doğrusunu yazması", öğrencinin teknoloji üzerindeki bilişsel üstünlüğünü ve denetim yetisini simgeler. Öte yandan, 5 öğrencinin sergilediği "koşulsuz güven", teknolojiyi hatasız bir "üst zekâ" olarak gören Teknolojik Determinizm eğilimini yansıtmaktadır. Bu farklılıklar, matematik eğitiminde yapay zekâ kullanımının sadece matematiksel beceriyi değil, aynı zamanda eleştirel dijital okuryazarlığı da tetikleyen bir alan olduğunu belgelemektedir.

Tablo 4. *Hata Denetimi, Müdahale ve Eleştirel Bakış (Görüşme Verileri)*

Kategori	Kod	f	Öğrenciler	Örnek Öğrenci İfadeleri (Görüşme Kayıtları)
Hata Denetimi ve Müdahale	Algoritmik Şüphe ve Denetim	11	Ö1, Ö2, Ö6, Ö8, Ö9, Ö11, Ö12, Ö13, Ö14, Ö18, Ö19	"yanlış olabileceğini düşündüm çünkü nadir de olsa yalnış cevaplar verebiliyor"."emin olamadigim için güvensizlik yaşadım".
	Aktif Müdahale ve Müzakere	4	Ö14, Ö18, Ö19	"yanlış olduğunu düşünüp kavga ettim, sonra doğru olduğunu anladım"."bazen kendim

				çözdüğüm soruyu sordum bana yanlış cevabı verdi o cevabı verince bende doğrusunu yazdım".
Güven Düzeyi	Koşulsuz Güven (Teknolojik Otorite)	5	Ö5, Ö7, Ö10, Ö15, Ö16	"Hayır düşünmedim çünkü yapay zeka olmasına güvendim"."hayır çünkü chatgbt çok yüksek bir yapay zeka hiç öyle bir şey aklımdan bile geçmedi".
	Kısmi / Kontrollü Güven	10	Ö1, Ö2, Ö8, Ö9, Ö11, Ö12, Ö14, Ö15, Ö17, Ö19	"%50 güvendim kendim de kontrol ettim ve doğru çıktı"."verdiği cevaplara hep güvenmedim çünkü bazı sorular yalnış çıkıyor".
Bilişsel Çıktı	Gelişen Öz-Yeterlik Algısı	7	Ö5, Ö7, Ö12, Ö14, Ö16, Ö17, Ö19	"mantığını anlamam kolaylaştı böylece geri kalanı kendim çözebileceğimi düşündüm"."evet anlatımdan sonra çözebileceğimi düşündüm".

Görüşmelerden elde edilen veriler ışığında, 6. sınıf öğrencilerinin yapay zekâyı matematiksel problem çözme süreçlerinde üç farklı bilişsel seviyede kullandıkları görülmektedir: İlk seviyede yapay zekâ, "anlayamama" durumunda devreye giren bir yardımcı; ikinci seviyede, konunun yöntemini adım adım anlatan bir dijital öğretmen; üçüncü ve en yüksek seviyede ise, hatalarının sorgulandığı ve öğrencinin kendi bilgisiyle "kavga ederek" doğruya ulaştığı bir sosyobilişsel çatışma alanı olarak konumlanmaktadır. Özellikle Ö14 ve Ö18 örneklerinde görülen "yanlışı düzeltme" eylemi, yapay zekânın matematik sınıflarında öğrenciye kendi bilgisini sınama fırsatı vererek öz-yeterlik algısını (f=7) güçlendirdiğini kanıtlamaktadır. Araştırma sonuçları, yapay zekânın matematik öğretiminde yalnızca destekleyici bir teknoloji olarak değil, uygun kullanım koşullarında öğrencilerin eleştirel düşünme becerilerini ve bağımsız öğrenme süreçlerini geliştiren etkili bir öğrenme ortağı olarak işlev gördüğünü göstermektedir.

Yapay Zeka Sohbet Dökümlerinin Nitel Analizi:Dijital Asistan İle Bilişsel Ve Duyuşsal Etkileşim

Sohbet dökümlerinin analizi, yapay zekânın sadece bir hesap makinesi işlevi görmediğini, öğrencilerin hem bilişsel hem de duyuşsal süreçlerine doğrudan müdahale eden hibrit bir "akıllı öğretim sistemi" ve "dijital akran" rolü üstlendiğini kanıtlamaktadır.

1. Matematiksel Kazanımların İşlenişi ve Pedagojik Modelleme

Dökümler incelendiğinde, yapay zekânın müfredat kazanımlarını öğrenciye aktarırken zaman zaman basitten karmaşığa zaman zaman ise üst seviyede açıklamalar yaparak yol aldığı görülmektedir:

Sayı Analizi ve Bölünebilme (Soru 1): Yapay zekâ, 31263 sayısının bölenlerini bulurken öğrenciye doğrudan cevabı vermek yerine, her bir rakam (1-9) için kuralı tek tek gerekçelendirmiştir. Örneğin, 3'e bölünebilirliği rakamları toplamının 15 olması üzerinden kanıtlarken, 2'ye bölünememeyi son rakamın tekliğiyle açıklamıştır. Bu yaklaşım, öğrencinin analitik düşünme becerisini iskelemektedir.

EBOB ve Strateji Geliştirme (Soru 4): Pirinç poşetleme probleminde sistem, "En az poşet için poşetlerin en büyük olması gerekir" diyerek öğrenciyi EBOB kavramına iletmiştir. Dökümlerde sistemin, öğrencinin yanlış yaptığı 30 ve 24 poşet hesaplarını fark edip "Doğru olan 4 ve 5 poşettir" diyerek düzeltme yaptığı saptanmıştır. Başka bir öğrenciye ise 8. sınıf düzeyinde bir yanıt vererek öğrenci düzeyini görmezden gelmiştir.

LEGO Probleminde Üst Düzey Muhakeme (Soru 5): Bu soruda yapay zeka bazı öğrencilere doğru yanıt verirken bazırlarını yanlış yönlendirmiştir. Doğru çözümlerde ise pedogojik olarak kazanım sıralamasında öğrencilerin henüz işlemedikleri konular üzerinden cebir, örüntü ve

denklem gibi konularla cevabı aktarmıştır.

2. Dinamik Öğrenme Alanı: Sohbet dökümlerindeki "kanka" ve "kocakafa" diyalogları, görüşmelerdeki "adım adım anlatım" ve "öğretmen gibi açıklama" bulgularıyla birleştiğinde; yapay zekânın öğrenci için matematik kaygısını azaltan ve konuyu basitleştiren bir "güvenli öğrenme limanı" oluşturduğu anlaşılmaktadır.

Sohbet kayıtlarında yapay zekânın, 6. sınıf düzeyindeki öğrencilerin dil dünyasına uyum sağladığı görülmektedir.Öğrenci Odaklı İpuçları: Sistem, öğrenciye "ezberlik taktik", "tek bakışta çözme hilesi" veya "hoca bayılacak seviyede kısa cümle" gibi cazip seçenekler sunarak etkileşimi kişiselleştirmiştir.

3.Sosyobilişsel Çatışmanın Gücü: Öğrencilerin görüşmelerde belirttikleri "kavga etme" veya "yanlışını düzeltme" eylemleri, sohbet dökümlerindeki LEGO sorusunda yaşanan yanılsama anlarıyla tam olarak örtüşmektedir. Bu durum, yapay zekânın hata yapma potansiyelinin, öğrenciyi pasiflikten çıkarıp aktif bir denetleyiciye dönüştürerek üst düzey düşünme becerilerini tetiklediğini göstermektedir.

Sonuç olarak; 6. sınıf öğrencileri yapay zekâyı matematiksel zorlukları aşmada bir kılavuz, çözümlerini denetlemek için bir doğrulama aracı ve yanlışlarını "kavga ederek" düzeltebildikleri bir sosyobilişsel çatışma ortağı olarak konumlandırmaktadırlar

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu araştırmada, ortaokul 6. sınıf öğrencilerinin "Çarpanlar ve Katlar" ünitesi kapsamında yer alan matematik problemlerini çözerken ChatGPT ile kurdukları etkileşimler bilişsel ve duyuşsal boyutlarıyla incelenmiştir. Elde edilen bulgular, öğrencilerin yapay zekâyı yalnızca doğru cevaba ulaşmak amacıyla kullandıkları bir araç olarak görmediklerini, aynı zamanda problem çözme sürecinde destek aldıkları bir öğrenme yardımcısı olarak değerlendirdiklerini göstermektedir. Araştırma sürecinde elde edilen veriler, öğrencilerin yapay zekâ ile kurdukları etkileşimin problem çözme davranışlarını, düşünme süreçlerini ve matematiğe yönelik tutumlarını çeşitli yönlerden etkilediğini ortaya koymuştur.

Araştırmanın en dikkat çekici bulgularından biri, öğrencilerin büyük bir bölümünün problemi anlamakta zorlandıkları veya çözüm sürecinde ilerleyemedikleri durumlarda ChatGPT'ye başvurmalarıdır. Analiz sonuçları, katılımcıların önemli bir bölümünün problem durumunu yorumlamakta veya çözüm sürecini sürdürmekte güçlük yaşadıklarında ChatGPT'ye başvurduklarını göstermiştir. Bu durum 14 öğrenciye karşılık gelmekte olup örneklemin %74'ünü oluşturmaktadır. Elde edilen bulgular, öğrencilerin ChatGPT'yi yalnızca bilgi sunan bir araç olarak değil, öğrenme sürecinde ihtiyaç duydukları anda başvurabilecekleri destekleyici bir kaynak olarak değerlendirdiklerini ortaya çıkarmaktadır. Öğrencilerin özellikle çözümün ilk adımını belirleyemedikleri, soru kökünü anlamakta zorlandıkları veya işlem basamaklarını planlayamadıkları durumlarda yapay zekâ desteğine yönelmeleri dikkat çekmiştir. Bu bulgu, Tekin ve Ciğerci (2025) ile Wardat vd. (2023) tarafından ortaya konulan, üretken yapay zekâ uygulamalarının öğrencilerin öğrenme süreçlerini desteklediği ve matematik kaygısını azaltabildiği yönündeki sonuçlarla paralellik göstermektedir.

Araştırma kapsamında öğrencilerin önemli bir bölümünün soruların fotoğraflarını çekerek ChatGPT'ye yüklediği görülmüştür. Bu durum, üretken yapay zekâ sistemlerinin çoklu veri girişine izin veren yapısının öğrenciler tarafından etkili biçimde kullanılabildiğini göstermektedir. Öğrencilerin uzun açıklamalar yazmak yerine doğrudan soru görsellerini paylaşmaları, teknolojinin erişilebilirliğini artıran önemli bir özellik olarak değerlendirilebilir. Özellikle ortaokul düzeyindeki öğrenciler için bu kullanım biçimi, yapay zekâ destekli öğrenme araçlarının günlük öğrenme süreçlerine daha kolay entegre olmasını sağlamaktadır.

Araştırmada elde edilen önemli bulgulardan biri de ChatGPT tarafından sunulan bazı çözüm yollarının öğrencilerin hazırbulunuşluk düzeylerinin üzerinde olmasıdır. Soru kâğıtlarının incelenmesi sonucunda bazı öğrencilerin çözümlerinde henüz 6. sınıf öğretim programında yer almayan cebirsel ifadeleri ve daha üst sınıf seviyelerinde kullanılan çözüm yöntemlerini kullandıkları belirlenmiştir. Özellikle an+b biçimindeki cebirsel gösterimlerin ve daha çok sınav hazırlık süreçlerinde karşılaşılan algoritmik çözüm yollarının öğrenciler tarafından doğrudan çözümlere aktarıldığı görülmüştür.

Bu durum, yapay zekâ tarafından sunulan akademik dil ile öğrencilerin mevcut bilgi düzeyleri arasında zaman zaman uyumsuzluk oluşabileceğini göstermektedir. Öğrencilerin bazı çözüm yollarını uygulayabilmelerine rağmen kullandıkları yöntemi neden tercih ettiklerini veya yöntemin matematiksel mantığını açıklamakta zorlandıkları gözlemlenmiştir. Bu bulgu, öğrencilerin bazı durumlarda çözüm sürecini anlamaktan çok, sunulan yöntemi takip etmeye yöneldiklerini düşündürmektedir. Benzer şekilde Ok vd. (2025), ChatGPT-4o'nun matematiksel problemlerde oldukça başarılı sonuçlar üretebildiğini ancak öğrencilerin bu çözümleri sorgulamadan kabul etmelerinin kavramsal öğrenme açısından bazı riskler oluşturabileceğini belirtmiştir. Araştırmadan elde edilen bulgular da bu değerlendirmeyi desteklemektedir.

Elde edilen veriler, öğrencilerin yapay zekâdan gelen yanıtları doğrudan benimsemek yerine zaman zaman doğrulama eğilimi gösterdiklerini ortaya koymaktadır. Öğrencilerin %58'inde (f=11) ChatGPT tarafından verilen cevapların doğruluğunu kontrol etmeye yönelik davranışlar gözlemlenmiştir. Özellikle bazı öğrencilerin yapay zekânın çözümünde hata olduğunu düşündükleri noktalarda sistemi yeniden yönlendirdikleri, farklı açıklamalar talep ettikleri veya kendi çözümleriyle karşılaştırma yaptıkları belirlenmiştir. Ö19 kodlu öğrencinin sohbet kayıtlarında yer alan "doğrusunu ben yazdım" ifadesi bu durumun en belirgin örneklerinden biridir.

Bu bulgu, öğrencilerin yapay zekâyı mutlak bir bilgi kaynağı olarak görmediklerini ve gerektiğinde sunulan bilgileri sorgulayabildiklerini göstermektedir. Demircioğlu vd. (2024), yapay zekâ ile kurulan etkileşimin niteliğinin öğrenme sürecini doğrudan etkilediğini belirtmektedir. Bu araştırmada da öğrencilerin yapay zekâ ile pasif bir bilgi alma ilişkisi kurmak yerine zaman zaman karşılıklı bir değerlendirme sürecine girdikleri görülmüştür. Bununla birlikte bazı öğrencilerin yapay zekâ tarafından sunulan cevapları herhangi bir kontrol yapmadan doğru kabul ettiği de belirlenmiştir. Özellikle çok adımlı muhakeme gerektiren problemlerde bu durumun öğrencilerin yanlış sonuçlara ulaşmasına neden olabileceği düşünülmektedir. Nazaretsky vd. (2025) tarafından vurgulanan yapay zekâya duyulan güvenin öğrenme süreci üzerindeki etkisi, bu araştırmanın bulgularıyla da desteklenmektedir. Bu nedenle öğrencilerin çözüm doğrulama becerilerinin geliştirilmesi önemli görülmektedir.

İnceleme sonuçlarında çalışmanın duyuşsal çıktılarına yönelik veriler de dikkat çekici örüntüler sunmaktadır. Sohbet dökümlerinde öğrencilerin ChatGPT'ye zaman zaman "kanka", "kocakafa" veya benzeri samimi ifadelerle hitap ettikleri görülmüştür. Bu durum öğrencilerin ChatGPT'yi yalnızca teknik bir araç olarak değil, öğrenme sürecinde kendilerine eşlik eden bir yardımcı olarak gördüklerini düşündürmektedir. Öğrenciler ile yapay zekâ arasında gözlemlenen bu yakın diyalog zemini, problem çözme aşamasındaki kaygıyı azaltarak soru çözmeye yönelik geliştirilen pozitif yaklaşımları ve sürece katılım motivasyonunu beslemiş olabilir.

Araştırmada bazı öğrencilerin ChatGPT ile etkileşim sonrasında matematik problemlerini çözebileceklerine yönelik inançlarının güçlendiği de gözlemlenmiştir. Özellikle daha önce çözmekte zorlandıkları sorular üzerinde yeniden çalışmaya başlamaları ve çözüm üretmeye devam etmeleri, öğrencilerin matematiksel öz yeterlik algılarının olumlu yönde etkilenmiş

olabileceğini göstermektedir. Bu durum, üretken yapay zekâ araçlarının yalnızca bilişsel değil, aynı zamanda duyuşsal süreçleri de etkileyebildiğini ortaya koymaktadır.

Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli'nde vurgulanan süreç odaklı öğrenme anlayışı, eleştirel düşünme becerileri ve üst düzey zihinsel süreçlerin geliştirilmesi hedefleri dikkate alındığında, yapay zekâ uygulamalarının eğitim ortamlarında bilinçli şekilde kullanılması gerektiği söylenebilir. Yapay zekâ araçları öğrencilerin yerine düşünen sistemler olarak değil, öğrencilerin düşünme süreçlerini destekleyen ve geliştiren öğrenme ortakları olarak değerlendirilmelidir. Ancak bu süreçte öğretmenin rehberliği büyük önem taşımaktadır. Öğrencilerin yapay zekâ tarafından sunulan bilgileri sorgulamaları, farklı çözüm yollarını karşılaştırmaları ve matematiksel gerekçelendirme yapabilmeleri öğretmen desteği ile daha etkili biçimde gerçekleştirilebilir.

Sonuç olarak bu araştırma, ChatGPT'nin 6. sınıf öğrencilerinin matematik öğrenme süreçlerinde önemli fırsatlar sunduğunu ortaya koymuştur. ChatGPT; öğrencilerin problem çözme süreçlerini destekleyen, ihtiyaç duydukları anda geri bildirim sağlayan, motivasyonlarını artıran ve matematiksel düşünmelerine katkı sunan güçlü bir öğrenme yardımcısı olarak değerlendirilebilir. Bununla birlikte zaman zaman yanlış bilgi üretebilmesi, öğrencilerin seviyelerinin üzerinde yöntemler sunabilmesi ve bazı öğrencilerde aşırı güven oluşturabilmesi gibi riskler de göz ardı edilmemelidir. Bu nedenle yapay zekâ destekli öğrenme süreçlerinin öğretmen rehberliğinde, eleştirel düşünmeyi merkeze alan ve öğrencilerin aktif katılımını destekleyen bir yaklaşımla yürütülmesi gerekmektedir.

ÖNERİLER

Araştırma bulguları, ilgili literatür ve Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli doğrultusunda aşağıdaki öneriler geliştirilmiştir.

Eğitimcilere Yönelik Öneriler

Matematik derslerinde yapay zekâ uygulamaları yalnızca doğru cevaba ulaşmayı sağlayan araçlar olarak kullanılmamalıdır. Öğretmenler, öğrencilerin yapay zekâ tarafından sunulan çözüm yollarını incelemelerine, hata veya eksiklikleri belirlemelerine ve alternatif çözüm stratejileri geliştirmelerine yönelik etkinlikler planlayabilirler. Böylece öğrencilerin eleştirel düşünme ve matematiksel muhakeme becerileri desteklenebilir. Ayrıca öğretmenlerin, yapay zekâ tarafından sunulan ve öğrencilerin seviyelerinin üzerinde kalan çözüm yöntemlerini açıklayarak kavramsal öğrenmeyi desteklemeleri önem taşımaktadır.

Müfredat Geliştiricilere ve Politika Yapıcılara Yönelik Öneriler

Yağan'ın (2025) çalışmasında işaret ettiği gibi, akıllı teknolojilerin öğrenme ekosistemlerine entegre olması, öğrencilerin dijital yetkinlik alanlarının ve okuryazarlık seviyelerinin sistematik olarak tahkim edilmesini zorunlu kılmaktadır. Bu doğrultuda öğretim programlarına yapay zekâ araçlarının etkili ve bilinçli kullanımına yönelik kazanımlar eklenebilir. Öğrencilere istem oluşturma becerileri, bilgi doğrulama yöntemleri ve etik kullanım ilkeleri sistematik biçimde öğretilebilir.

Program ve Materyal Geliştiricilere Yönelik Öneriler

Lesh vd. (2000) tarafından önerilen matematiksel modelleme ilkeleri doğrultusunda ders kitaplarında yer alan problemlerin öğrencilerin yalnızca işlem becerilerini değil, aynı zamanda muhakeme, modelleme ve açıklama becerilerini geliştirecek biçimde düzenlenmesi önerilmektedir. Bu bağlamda, günlük hayat senaryolarını barındıran ve bireylerin kendi zihinsel akıl yürütme basamaklarını açıkça ortaya koymalarına zemin hazırlayan faaliyetlerin artırılması önemli görülmektedir.

Araştırmacılara Yönelik Öneriler

Gelecekte yapılacak araştırmalarda yapay zekâ ile etkileşim sonucunda ortaya çıkan öğrenme davranışlarının uzun vadeli etkileri incelenebilir. Ağırlıklı olarak, akıllı sistemlerin ürettiği

ileri düzey stratejilerin öğrenciler tarafından süreç içerisinde nasıl içselleştirildiği ve bu durumun bilişsel öğrenme kalıplarına yansımaları boylamsal çalışmalarla araştırılabilir. Ayrıca geometri, veri analizi, cebir ve olasılık gibi farklı öğrenme alanlarında öğrencilerin yapay zekâ ile kurdukları etkileşimlerin karşılaştırmalı olarak incelenmesi alanyazına önemli katkılar sağlayabilir.

KAYNAKÇA

Bloom, B. S. (1956). Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. *Longmans, Green.*

Büyükbayram, A., Dönmez, M., & Elçi, A. (2025). Matematik eğitiminde büyük dil modellerinin rolü ve öğrenme ortaklığı. Eğitim ve Teknoloji Dergisi, 17*(1), 45–62.*

Creswell, J. W. (2017). Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches *(4th ed.). SAGE Publications.*

Demircioğlu, H., Karasu, B., & Aktaş, S. (2024). Matematik eğitiminde yapay zekâ kullanımına yönelik eğilimler: Bir meta-sentez çalışması. Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 44*(2), 789–815.*

Hacıoğlu Seven, S., & Erümit, S. F. (2025). Eğitimde üretken yapay zekâ: Tarihsel süreç ve gelecek perspektifi. Yükseköğretim Dergisi, 15*(1), 12–29.*

Karabacak, Ö., & Bilgin, N. (2025). Matematik kaygısı ve yapay zekâ destekli öğrenme süreçleri: Ortaokul öğrencileri üzerine bir inceleme. Türk Bilgisayar ve Matematik Eğitimi Dergisi, 16*(1), 102–121.*

Karabıyık, A. (2024). Yapay zekâ uygulamalarının matematik öğretimine entegrasyonu: Fırsatlar ve meydan okumalar. Necatibey Eğitim Fakültesi Elektronik Fen ve Matematik Eğitimi Dergisi, 18*(2), 345–367.*

Kutlucan, H., & Seferoğlu, S. S. (2024). Üretken yapay zekâ araçlarının eğitimsel sınırlılıkları ve risk faktörleri. Bilişim Teknolojileri Dergisi, 17*(3), 211–228.*

Lesh, R., Hoover, M., Hole, B., Kelly, A., & Post, T. (2000). Principles for developing thought-revealing activities for students and teachers. In A. E. Kelly & R. A. Lesh (Eds.), Handbook of research design in mathematics and science education *(pp. 591–646). Lawrence Erlbaum Associates.*

Marangoz, M. (2024). Eğitimde ChatGPT dönemi: Dijital okuryazarlık, etik ve pedagojik dönüşüm. Amasya Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 13*(1), 55–80.*

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

Millî Eğitim Bakanlığı. (2024). Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli ortak metni. *T.C. Millî Eğitim Bakanlığı Yayınları.*

Nayıroğlu, S., & Tutak, T. (2024). Matematik öğretiminde analitik düşünme ve problem çözme becerilerinin geliştirilmesi. Kastamonu Eğitim Dergisi, 32*(4), 512–527.*

Nazaretsky, T., Ariely, M., & Richter, G. (2025). Trust in artificial intelligence within educational settings: Formative assessment and cognitive scaffolding. Computers & Education, 224, *Article 105120.*

Ok, M., Yılmaz, R., & Doğan, H. (2025). Evaluation of ChatGPT-4o's performance on conceptual mathematics questions and algebraic reasoning. Journal of Educational Computing Research, 63*(2), 411–436.*

Özdemir, E. (2012). İlköğretim öğrencilerinin matematik derslerinde problem çözme süreçlerinin ve stratejilerinin incelenmesi. Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 42*(2), 115–128.*

Özolgun, M. (2017). Matematik eğitiminde dijital araçların kullanımı ve öğrencilerin kavramsal öğrenme düzeyleri. İlköğretim Online, 16*(3), 984–1001.*
Özyürek, R., & Erdoğan, S. (2011). İlköğretim ikinci kademe öğrencilerinin matematiksel akıl yürütme becerilerinin boylamsal olarak incelenmesi. Eğitim ve Bilim, 36*(160), 142–157.*
Sarıkaya, K., & İnci Kuzu, D. (2026). Büyük dil modellerinin matematiksel performans analizi ve hata örüntüleri. Eğitim Teknolojisi Kuram ve Uygulama, 16*(1), 1–22.*
Şahinkaya, G., & Özcan, M. (2025). Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli çerçevesinde öğretim programlarında teknoloji entegrasyonu. Millî Eğitim Dergisi, 54*(245), 89–114.*
Tapan-Broutin, M. (2023). Prompt engineering in mathematics education: Initial interactions and pedagogical mediation. Mathematics Education Research Journal, 35*(4), 713–732.*
Tekin, M., & Ciğerci, F. M. (2025). Üretken yapay zekâ teknolojilerinin eğitimde kullanımı: Sistematik bir alan yazın taraması. Hacettepe Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 40*(1), 63–84.*
Wardat, Y., Tashtoush, M. A., AlAli, R., & Jarrah, A. M. (2023). The impact of ChatGPT on mathematics education: Opportunities and challenges. International Journal of Membrane Science and Technology, 10*(3), 1324–1338.*
Yağan, S. (2025). Eğitim politikalarında yapay zekâ ve dijital okuryazarlık kazanımları: Karşılaştırmalı bir analiz. Eğitim Yönetimi: Kuram ve Uygulama, 31*(2), 175–198.*
Yıldırım, A., & Şimşek, H. (2018). Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri *(11. baskı). Seçkin Yayıncılık.*

MATEMATİK ÖĞRETMEN ADAYLARININ "NEDEN SORULARINI" YAPILANDIRMA BECERİLERİ

Halime KURT
Bursa Uludag University, Institue of Educational Sciences, Department of Mathematics
Bursa, Türkiye
ORCID ID: 0009-0009-2015-7930
Hiranur AKSOY
Bursa Uludag University, Institue of Educational Sciences, Department of Mathematics
Bursa, Türkiye
ORCID ID: 0009-0009-8139-9378
Doç. Dr. Tuğçe KOZAKLI ÜLGER
Bursa Uludag University, Institue of Educational Sciences, Department of Mathematics
Bursa, Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-8413-8290
Prof. Dr. Gül KALELİ YILMAZ
Bursa Uludag University, Institute of Educational Sciences, Department of Mathematics
Bursa, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-8567-3639

ÖZET
Bu çalışmanın amacı, matematik öğretmen adaylarının sınıf içi diyaloglar üzerinden neden sorularını Melhuish vd. (2024)'in teorik çerçevesi bağlamında düzeylerini ve bu soruları yapılandırma becerilerini incelemektir. Araştırmada nitel araştırma yöntemlerinden durum çalışması deseni işe koşulmuştur. Araştırmanın çalışma grubunu, Türkiye'deki bir devlet üniversitesinin İlköğretim Matematik Öğretmenliği programı 3. sınıfta okuyan 9 öğretmen adayı, matematik öğretmenliği programından mezun olmuş 5 kişi ve matematik eğitimi alanında eğitim gören 3 yüksek lisans öğrencisi oluşturmaktadır. Veri toplama aracı olarak, Milli Eğitim Bakanlığı 6. sınıf matematik öğretim programında yer alan dairenin alanı konusuna yönelik kurgulanmış bir ders transkripti ve bu transkriptteki 7 adet neden sorusunun incelenmesini içeren yazılı analiz formu kullanılmıştır. Öğretmen adaylarından bu soruları seviyelerine göre sınıflandırmaları, kararlarını gerekçelendirmeleri ve düşük/orta seviyeli soruları yüksek seviyeli formlara dönüştürmeleri istenmiştir. Elde edilen yazılı verilerin çözümlenmesinde tümdengelimsel ve tümevarımsal nitel içerik analizi teknikleri (yönlendirilmiş içerik analizi) bir arada kullanılmıştır. Öğretmen adaylarının soruların bilişsel seviyelerini değerlendirme biçimleri Melhuish vd. (2024) kuramsal çerçevesine göre tümdengelimsel olarak sınıflandırılırken, öğretmen adaylarının gerekçeleri ve dönüştürme stratejileri tümevarımsal olarak kodlanmıştır. Araştırma sonucunda öğretmen adaylarının, soruların sadece neden ifadesiyle başlamasının üst düzey bilişsel becerileri işe koşmadığını, sorunun asıl niteliğinin öğrenciden talep edilen alan açıklamasında yattığını saptayabildikleri görülmüştür. Katılımcılar günlük yaşam bağlamına ve işlemsel kurallara dayalı soruları yüksek bir tutarlılıkla düşük seviyeli olarak kodlamıştır. GeoGebra modeline dayalı görsel/sezgisel tespitler içeren yanıtları ise orta seviyede sınıflandırmışlardır. Soruları yüksek seviyeye dönüştürme sürecinde ise öğretmen adaylarının zıtlık duyarlılığı oluşturma, soyut kavramları GeoGebra modelleriyle ilişkilendirerek ispat ve modele yönlendirme stratejilerini etkili bir şekilde kullandıkları belirlenmiştir. Sonuçlar, sistemli bir analitik eğitimin öğretmen adaylarının sınıf içi sorgulama yetkinliklerini ve pedagojik alan bilgilerini geliştirmede önemli bir rol oynadığını göstermektedir.
Anahtar Kelimeler: Neden soruları, Matematik eğitimi, Dairenin alanı, Alan açıklaması.

PROSPECTIVE MATHEMATICS TEACHERS SKILLS IN STRUCTURING "WHY" QUESTIONS

ABSTRACT

The purpose of this study is to examine prospective mathematics teachers' levels of "why" questions through classroom dialogues within the context of Melhuish's theoretical framework, as well as their skills in structuring these questions. A case study design, one of the qualitative research methods, was employed in the research. The study group consists of 17 prospective teachers studying in the Middle School Mathematics Education program at a state university in Türkiye, selected using the criterion sampling technique. As a data collection tool, a lesson transcript designed for the topic of the area of a circle in the Ministry of National Education's 6th-grade mathematics curriculum and a written analysis form containing the examination of 7 "why" questions in this transcript were used. Prospective teachers were asked to classify these questions according to their levels, justify their decisions, and transform low/medium-level questions into high-level forms. Content analysis technique was used to analyze the gathered written data, and the data were analyzed according to the Domain Explanation theoretical framework of Melhuish et al. (2024). The results of the research revealed that prospective teachers were able to determine that a question simply starting with the word "why" does not necessarily engage higher-order cognitive skills, and that the true nature of the question lies in the domain explanation demanded from the student. Participants coded questions based on daily life contexts and procedural rules as low-level with high consistency. They classified responses involving visual/intuitive observations based on GeoGebra models as medium-level. In the process of transforming questions into high-level ones, it was determined that prospective teachers effectively used strategies such as creating contrast sensitivity, and directing toward proof and modeling by associating abstract concepts with GeoGebra models. The findings indicate that systematic analytical training plays a significant role in developing prospective teachers' classroom questioning competencies and pedagogical content knowledge.

Keywords: Why questions, Mathematics education, Area of a circle, Domain explanation.

GİRİŞ

Eğitimde soru sorma yöntemi M.Ö. 200'lü yıllarda Sokrates'e kadar dayanmaktadır ve Sokrates; öğrencilerinin kendi düşüncelerini analiz etmelerini sağlama, eleştirel düşüncelerini geliştirme gibi üst düzey becerileri kazandırmak için bu yöntemi kullanmıştır (Ramsey vd., 1990). Sokratik yöntemin temelini oluşturan bu sorgulayıcı yaklaşım, günümüz modern eğitim anlayışında da geçerliliğini korumaktadır. Öğrenme ortamlarında kullanılan stratejik sorular da, öğrencilerin matematiksel fikirleri birbirine bağlamasına ve kavramsal anlamalarını derinleştirmelerine olanak tanır (National Council of Teachers of Mathematics [NCTM], 2014). Bu kavramsal derinleştirme süreci, öğretmenin sınıf içindeki geri bildirimleri ile mümkün olabilir. Nitekim öğretmenlerin soru sorma becerisi, öğrencilerin öğrenme süreçlerini izlemek ve eksik öğrenmeleri anında tespit ederek süreci iyileştirmek için temel bir pedagojik araç olarak tanımlanır (Millî Eğitim Bakanlığı [MEB], 2023).

Öğretmenlerin kullandığı derinlemesine sorgulamalar, öğrencilerin başlangıçtaki hatalı ya da noksan matematiksel açıklamalarını doğru ve tam bir yapıya dönüştürmede temel bir iskele görevi görür (Franke vd., 2009). Sınıf içi tartışmalarda öğretmenin gerekçeleri doğrudan sunmak yerine öğrenciden talep etmesi, öğrencilerin matematiksel özerkliklerini geliştirerek kolektif argümantasyon sürecine daha güçlü katılım sağlamalarına olanak tanır (Conner vd., 2014).

Ancak literatürdeki yaygın bulgular, öğretmen sorularının potansiyel gücü ile sınıf içi uygulamalar arasında ciddi bir fark olduğunu göstermektedir. Matematik sınıflarında sorulan

soruların çoğunluğunun hatırlama, basit hesaplama ve doğrulama gibi alt düzey bilişsel basamaklarda kaldığı görülmektedir. Öğretmenlerin daha çok doğrulamaya yönelik bir yönlendirme yaptıkları, öğrenciden sadece evet/hayır veya ritüelleşmiş prosedür adımlarını tekrarlamalarını bekledikleri saptanmıştır.

Sınıf içi diyaloglar üzerine yapılan araştırmalar, öğretmenlerin yoğunlukla kısa yanıt gerektiren doğrulama, hesaplama ve özellik belirleme gibi soruları tercih ettiklerini ortaya koymaktadır (Bozkurt vd., 2017; Graesser vd., 1992). Bu zarar verici eğilim, öğretmen ve öğretmen adaylarının sorduğu sorularının çoğunlukla düşük bilişsel düzeyde kalması ve özellikle "neden" sorularının potansiyelinin yeterince kullanılmaması sorununu doğurmaktadır. Bu tür sorular, öğrenciden yoğun bir bilişsel çaba beklemeyen, genellikle tek kelimelik veya ritüelleşmiş yanıtlarla cevaplanan etkileşimlerdir (DeJarnette vd., 2020; Özkan, 2011). Derin bir kavrayış, eleştirel düşünme ve matematiksel nesneler içinde ilişki kurma fırsatı sunan gerekçelendirme ve netice çıkarma gibi uzun cevap gerektiren soru türlerine ise derslerde çok kısıtlı düzeyde yer verilmektedir (Bozkurt vd., 2017; Şahin & Kulm, 2008). Bu durum, öğrencilerin matematiği anlamlandırmak yerine ancak işlem adımlarını onaylatmaya odaklandığı, öğretmen onayına bağımlı bir derslik ortamının oluşmasına niçin olmaktadır (Özkan, 2011). Öğretmenlerin sıklıkla “Anladınız mı?" gibi üst düzey zihinsel süreci işe koşmayan değerlendirme sorularını öğrencilere sormaları veya öğrenci zorlandığı zaman doğrudan cevabı vermeyi tercih etmeleri anlamlı öğrenme ortamlarının oluşmasını engellemektedir (DeJarnette vd., 2020; Şahbaz & Kula Ünver, 2024). Bu durum, matematik sınıflarının zengin matematiksel deneyimler yaşatan bir öğrenme ortamı olmaktan ziyade işlemlerin ve kuralların doğruluğunun test edildiği ortamlar haline gelmesine sebep olur. Bu durum da öğrencilerin düşünme becerilerinin gelişimini olumsuz etkilemektedir.

Mevcut çalışmalar öğretmenlerin ve öğretmen adaylarının soru sormaları ve öğrencilerin düşünme becerilerine ne kadar hizmet ettiği bağlamına odaklanmıştır. Yapılan çalışmalarda öğretmenlerin ve öğretmen adaylarının öğretim sürecine yönelik soru sorma düzeylerinin yeterli olmadığı görülmüştür. Öğretmen adaylarının öğretmenlik mesleğini henüz yapmadan öğretim süreçlerinde nitelikli ve yüksek düzey sorular sormasının öğretim süreçlerine faydalı olacağını öngörüyoruz.

Kavramsal ve Kuramsal Çerçeve

Matematik Öğretiminde Neden Sorularının Yeri ve Yapısı

Matematik öğretiminde, öğretmenlerin öğrencilere soru sorması öğrenme sürecini etkili kılabilecek faaliyetlerden biridir. Ancak her soru öğrencinin öğrenme sürecini olumlu etkileyen bir faaliyet olmayabilir. Öyle ki Teaching Children Mathematics dergisi, bir sayının tamamını neden soruları konusuna ayırmış ve neden sorusunun, matematiksel akıl yürütme becerisini geliştirmek için etkili bir yöntem olarak yeterince kullanılmadığını göstermiştir. Öğretmenler tarafından sorulan yönlendirici soruların, öğrencinin özgün düşüncesinden ziyade öğretmenin kendi zihinsel şemalarını yansıttığı ve bu durumun öğrencinin kavramsal gelişimini desteklemek yerine kısıtladığı tespit edilmiştir (Franke vd., 2009). Öğretmenlerin sıklıkla başvurduğu "Başka ne yaptın?" gibi genel takip sorularının, öğrenciyi detay vermeye teşvik etse bile kavramsal doğruluğu ve derinlemesine anlamayı sağlamada çoğu zaman etkisiz kaldığı saptanmıştır (Franke vd., 2009). Öğretmen adaylarının da genellikle kapalı uçlu ve kontrol listesi tarzında sorular sordukları, bu tür soruların ise öğrencilerin eleştirel düşünme ve derinlemesine sorgulama süreçlerini geliştirmede yetersiz kaldığı görülmüştür (DeJarnette vd., 2020).

Öğretmenlerin öğretim süreci sırasında öğrencilere sıklıkla sordukları soru çeşitlerinden biri de neden sorularıdır. Bir neden sorusu, “P’nin açıklanması talebiyle birlikte bir P önermesi” olarak tanımlanmaktadır (Temple, 1988, s. 141). Neden sorularını diğer istek türlerinden ayıran temel

özellik, dilbilimsel yapısından ziyade yüksek düzeydeki bağlama duyarlılığıdır (Cox, 2019; Van Fraassen, 1980). Neden sorularının anlaşılması ve nitelikli bir şekilde yapılandırılması, iki temel boyuta dayanmaktadır: zıtlık duyarlılığı ve alan duyarlılığı. Van Fraassen (1980), bir neden sorusunun ancak içerdiği zımni kontrastlar üzerinden tam olarak anlaşılabileceğini savunur. "Neden 9'a 5 ekledin?" sorusu, vurguya göre "Neden başka bir sayı değil de 5?" ya da "Neden çıkarma değil de toplama?" gibi farklı anlamlar kazanabilir. Neden soruları, içinde sorulduğu alan ile doğrudan ilişkilidir. Bu alan, geniş matematik disiplininden belirli bir sınıfın sosyomatematik normlarına kadar uzanır (Yackel & Cobb, 1996, s. 461). Bu normlar, sınıfta neyin kabul edilebilir bir açıklama olduğunu belirler.

Öğretmenlerin sorduğu neden soruları, her zaman derinlemesine bir matematiksel gerekçelendirme talebi içermeyebilir. Alan yazın, bu soruların farklı amaçlarla kullanılabileceğini göstermektedir. Matematiksel bir önermenin neden doğru olduğuna dair kabul edilmiş argüman biçimlerini içeren taleplerdir (Sandborg, 1998). Ancak öğretmenlerin gerekçelendirme kavramları ile akademik alan açıklamaları her zaman uyuşmamaktadır (Knuth, 2002; Stylianides & Stylianides, 2009). Bazı sorular, matematiksel doğruluğu ölçmekten ziyade, öğrencinin neden belirli bir stratejiyi veya temsili seçtiğini anlamaya yöneliktir (Chazan & Sandow, 2011; Roessler, 2014). Neden soruları bazen bir bilgi eksikliğinden değil, öğrencinin hatasına dikkat çekmek ve dolaylı bir eleştiri sunmak amacıyla da kullanılabilir (Bolden & Robinson, 2011). Neden soruları, öğrencinin sadece sonucu değil, o sonuca giden düşünce sürecini de açığa çıkarmasına olanak tanır (DeJarnette vd., 2020). Temple'ın (1988) belirttiği üzere bu soruların ardındaki asıl güç, soruyu soranın beklentisi ile verilmesi muhtemel yanıt türünü birleştirmesinde yatar. Bu çalışmayla öğretmen adaylarının eğitiminde de sadece neden sorusunu kullanmak yerine bu sorunun açığa çıkardığı akıl yürütme sınırlarını ve beraberinde gelen zıtlık duyarlılığını doğru şekilde koordine etme becerisini kazanmanın etkili olacağını öngörüyoruz.

Melhuish ve Arkadaşlarının (2024) Neden Soruları Sınıflaması

Biz çalışmamızı Melhuish ve arkadaşları tarafından sunulan kuramsal çerçeveye göre yapılandırdık. Melhuish vd. (2024) tarafından sunulan kuramsal çerçeveye göre, neden soruları beklenen öğrenci yanıtlarına göre üç seviyede incelenebilir: düşük seviyeli neden soruları, orta seviyeli neden soruları, yüksek seviyeli neden soruları.

Düşük seviyeli neden soruları: Öğrenciden sadece ezberlenmiş bir kuralı veya bir işlem adımını söylemesini talep eder. Örneğin, "Neden bu sayı 3'e bölünmez?" sorusuna "Çünkü rakamları toplamı 3'ün katı değil" yanıtını beklemek, akıl yürütmeden ziyade ezberlenmiş bir bilginin hatırlanmasıdır.

Orta seviyeli neden soruları: Bir kavramın tanıma uyup uymadığını veya bir cevabın uygunluğunu sorgulayan, ancak derin bir matematiksel temellendirme gerektirmeyen sorulardır. Örneğin, geometride "Neden bu şekil bir dikdörtgendir?" sorusuna karşılık olarak "Çünkü karşılıklı kenarları birbirine eşit ve tüm iç açıları 90 derecedir" cevabının beklenmesi orta seviyeli neden sorusuna örnektir.

Yüksek seviyeli neden soruları: Bir stratejinin veya yöntemin neden işe yaradığının kavramsal olarak savunulmasını ve matematiksel bir iddianın gerekçelendirilmesini talep eder. Örneğin, "Neden bir üçgenin iç açılarının toplamı her zaman 180 derecedir?" sorusu karşısında öğrenciden paralel doğrular çizerek iç ters açılar yardımıyla genel bir ispat yapmasının beklenmesi yüksek seviyeli bir neden sorusudur.

Bu kuramsal çerçeve, araştırmamızın veri analizi sürecinde öğretmen adaylarının Dairenin Alanı ders transkriptinde yer alan yedi farklı neden sorusunu hangi kriterlerle değerlendirdiklerini ve bu soruları yüksek bilişsel düzeye taşırken nasıl bir pedagojik köprü kurduklarını çözümlemek amacıyla işe koşulmuştur.

Literatür Taraması

Öğretmenlerin Mevcut Soru Sorma Örüntüleri ve Düzeyleri

Literatürde, öğretmenlerin öğretim sürecinde soru sorma faaliyetlerine dair pek çok araştırma mevcuttur. Bu araştırmaların bir kısmı matematik sınıflarında öğretmenlerin sorduğu soruların mevcut durumunu ortaya koymaktadır. İlgili çalışmalarda, sınıf içi diyaloglarda sorulan soruların %90'ından fazlasının hatırlama, onaylatma ve işlemsel bilgi odaklı olduğu görülmüştür. Öğretmenlerin genellikle doğrulama ve hesaplama sorularını tercih ederken, gerekçelendirme gibi derinlikli sorulara çok az yer verdikleri saptanmıştır. Öğrencilerin üst düzey düşünmesini tetikleyen ve iddialarını gerekçelendirmesini isteyen soruların oranının ise %6 gibi çok düşük seviyelerde kaldığı alan yazında mükerrer şekilde ortaya konmuştur (Bozkurt vd., 2017; Özkan, 2011; Şahbaz & Kula Ünver, 2024; Toluk Uçar, 2011).

Öğretmen Adaylarının Soru Sorma Güçlükleri ve Becerileri

Literatürdeki çalışmaların bir diğer odak noktası ise geleceğin öğretmenleri olan öğretmen adaylarının nitelikli soru sorma becerileri üzerinedir (Cumhur & Güven, 2018; Toluk Uçar, 2011; Yetkin Özdemir & Kayhan Altay, 2016). Bu araştırmalar, öğretmen adaylarının öğrencilerin matematiksel düşüncelerini açığa çıkaracak nitelikli sorular hazırlamakta ve öğrenci yanıtlarına uygun pedagojik dönütler vermekte ciddi zorluklar yaşadıklarını göstermektedir. Özellikle matematiksel kuralların arkasındaki mantıksal ve kavramsal temelleri açıklamakta zorluk çeken öğretmen adaylarının, "ters çevir-çarp" gibi matematiksel dayanağı ve gerekçesi sunulmayan kısa yollara/kurallara başvurdukları görülmüştür. Öğretmen adayları soruları çoğunlukla öğrencilerin yalnızca ön bilgilerini hatırlama durumlarını kontrol etmek amacıyla kullanmakta, buna karşın kavram yanılgılarını belirleyecek, derinleştirecek ya da bilişsel çelişki yaratacak sorgulama süreçlerini ihmal etmektedirler.

Neden Sorularının Teorik, Dilbilimsel ve Matematiksel İşlevleri

Alan yazında neden sorularının özgün yapısına odaklanan teorik ve deneysel çalışmalar da mevcuttur (Bolden & Robinson, 2011; Cox, 2019; Faye, 1999; Melhuish vd., 2024; Sandborg, 1998; Temple, 1988). Bu çalışmalar, dilsel olarak tamamen aynı görünen her neden sorusunun öğrenci üzerinde aynı bilişsel talebi yaratmadığını savunmaktadır. Bazı neden soruları sadece hatırlamaya veya işlemsel adımları mekanik olarak tekrar etmeye yönelikken, bazıları ise derinlemesine bir akademik/matematiksel alan açıklaması talep eder. Neden soruları kimi zaman sadece bir durumun yüzeysel doğruluğuna odaklanabilmekte, bu durum da sorunun taşıdığı potansiyel matematiksel ve kavramsal işlevi zayıflatabilmektedir.

Melhuish vd. (2024) tarafından yapılan güncel bir çalışmada, ABD'deki 4. ve 8. sınıf seviyelerinde öğrencilerin eğitim gördüğü 97 derslikten oluşan geniş bir örneklemde öğretmenlerin neden soruları derinlemesine incelenmiştir. Araştırma sonuçları, sınıflarda neden sorusu niceliksel olarak sıkça sorulsa bile, bu soruların büyük bir çoğunluğunun yalnızca hatırlatma ve işlem basamağında kaldığını; öğrencileri derinlemesine bir akıl yürütmeye sevk etmekten ziyade, mevcut kuralları veya süreçleri tekrar etmeye yönelttiğini göstermektedir. Söz konusu çalışmada, diğer yönlendirme türlerinin kullanımı sınıf yapılarına ve pedagojik yaklaşımlara göre farklılık gösterirken neden sorularının, sınıfın kavramsal veya öğrenci merkezli olup olmadığından bağımsız olarak çoğu derste yapısal bir rutin olarak yer aldığı saptanmıştır. Buna bağlı olarak Melhuish vd. (2024) çalışmasında aynı biçimsel yapıda sorulan neden sorularının farklı sınıflarda çok farklı işlevler gördüğü belirlenmiştir.

Yüksek seviyeli neden sorularının yoğun olarak işe koşulduğu sınıflarda öğrencilerin matematiksel akıl yürütme seviyeleri ve derse olan kavramsal katılımları anlamlı derecede yüksek çıkmıştır. Sadece düşük seviyeli neden sorularının sorulduğu sınıflarda ise matematiksel söylemin son derece yüzeysel ve işlem odaklı kaldığı gözlemlenmiştir. Sonuç olarak Melhuish

vd. (2024) araştırması, matematik sınıflarında neden sorusunun niceliğinden ziyade sorunun niteliğinin önemli olduğunu göstermekle beraber en önemlisinin öğrenciden beklenen ve açığa çıkarılan yanıtın türünün matematiksel yetkinlik ve kavramsal derinleşme açısından kritik bir rol oynadığını açıkça vurgulamaktadır.

Araştırmanın Amacı ve Bağlamı

Bu çalışmanın temel amacı, ilköğretim matematik öğretmen adaylarının sınıf içi diyaloglar üzerinden neden sorularının bilişsel düzeylerini belirleme ve bu soruları yapılandırma becerilerini incelemektir. Öğretmen sorularının sınıf içi söylemdeki kritik rolüne rağmen, alan yazında öğretmenlerin ve öğretmen adaylarının sorduğu soruların çoğunlukla düşük bilişsel düzeyde kaldığı ve neden sorularının potansiyel gücünün yeterince işe koşulmadığı görülmektedir. Bu araştırma, öğretmen adaylarının teorik olarak öğrendikleri soru sorma sınıflamalarını pratik bir ders senaryosu üzerinde ne derece uygulayabildiklerini ortaya koymayı hedeflemektedir.

Çalışmanın bağlamını, Milli Eğitim Bakanlığı matematik öğretim programında yer alan 6. Sınıf – Geometri ve Ölçme öğrenme alanı, dairenin alanı konusu oluşturmaktadır. Ders senaryosunun kurgulandığı sınıf ortamında öğrenciler, çemberin çevre uzunluğunu hesaplamayı ve dikdörtgenin alanını bulmayı bilmekte, ancak dairenin alan formülünü henüz görmemişlerdir. Bu pedagojik arka planda öğretmen, öğrencilerin daireyi dinamik matematik yazılımı GeoGebra üzerinde dilimlere ayırarak adım adım bir dikdörtgene benzetmesini sağlamakta ve bu somut modelleme üzerinden formülü keşfettirmeyi amaçlamaktadır. Öğretmen adayları, işte bu matematiksel ve pedagojik altyapıya sahip bir sınıf içi ders transkriptini temel alarak incelemelerini yürütmüşlerdir.

Bu bağlamsal çerçevede, araştırmanın odağını ve temel veri kaynağını, öğretmen adaylarının kendilerine sunulan ders transkripti üzerindeki yedi adet neden sorusunu analiz ettikleri uygulama görevi oluşturmaktadır. Bu görev kapsamında öğretmen adaylarının bir beceri olarak incelenen yapılandırma süreçleri, veri toplama aracındaki şu ardışık üç adım üzerinden somutlaşmaktadır:

1. Mevcut Seviyeyi Belirleme: Diyalogda yer alan yedi neden sorusunun Melhuish vd. (2024) çalışmasında sunduğu kuramsal çerçeveye göre düşük, orta veya yüksek seviye olarak kategorize edilmesi.
2. Sebebi Açıklama: Belirlenen bu bilişsel seviyenin nedenini, transkriptteki öğrencinin verdiği yanıtı ve diyalog akışını referans alarak gerekçelendirme.
3. Yüksek Seviye Halini Tasarlama: Eğer mevcut soru düşük veya orta seviyeli ise, bu soruyu öğrenciden ezber veya kural hatırlama yerine derinlemesine bir matematiksel gerekçe talep edecek şekilde yüksek seviyeli bir soru olarak yeniden yazma.

Araştırma kapsamında öğretmen adaylarının bu üç aşamalı göreve verdikleri yazılı yanıtlar incelenmiştir. Kuramsal bilgiyi pratik bir ders durumu üzerinden ne ölçüde anlamlandırabildikleri ve neden sorularını nitelikli biçimde oluşturma becerileri çözümlenmiştir.

Araştırma Soruları

Bu araştırmada, yukarıda belirtilen amaç doğrultusunda aşağıdaki sorulara yanıt aranmaktadır:

1. İlköğretim matematik öğretmen adaylarının, dairenin alanı konusundaki bir ders diyaloğunda yer alan neden sorularının mevcut bilişsel seviyelerini (düşük, orta, yüksek) belirleme becerileri ne düzeydedir?
2. Öğretmen adaylarının neden sorularının bilişsel seviyelerine yönelik sundukları gerekçeler nelerdir?
3. Öğretmen adaylarının, düşük ve orta seviyeli neden sorularını matematiksel gerekçelendirme içeren yüksek seviyeli formlara dönüştürme becerileri nasıldır?

YÖNTEM

Araştırma deseni

Bu çalışmada, ilköğretim matematik öğretmen adaylarının ders içindeki "neden" sorularını nasıl değerlendirdiklerini, bu soruların seviyelerine karar verirken neleri ölçüt aldıklarını ve soruları daha üst seviyeye taşımak için nasıl stratejiler geliştirdiklerini derinlemesine incelemek amaçlanmıştır. Araştırmada, ele alınan konuyu kendi doğal ortamı ve bağlamı içinde ayrıntılı bir şekilde incelemeye imkan tanıyan durum çalışması yöntemi kullanılmıştır (Yin, 2018).

Katılımcılar

Araştırmanın çalışma grubunu, Türkiye'deki bir devlet üniversitesinin İlköğretim Matematik Öğretmenliği programı 3. sınıfta okuyan 9 öğretmen adayı, matematik öğretmenliği programından mezun olmuş 5 kişi ve matematik eğitimi alanında eğitim gören 3 yüksek lisans öğrencisi oluşturmaktadır. Katılımcıların belirlenmesinde amaçlı örnekleme yöntemlerinden ölçüt örnekleme tekniği seçilmiştir (Patton, 2015). Bu doğrultuda, ilköğretim matematik öğretmen adaylarının "Matematik Öğretimi I ve II" derslerini başarıyla tamamlamış olmaları temel ölçüt olarak belirlenmiştir. Bu ölçütün seçilme sebebi, katılımcıların sınıf içi söylem, soru sorma şekilleri ve pedagojik içerik bilgisi gibi konularda ders transkriptini inceleyebilecek teorik altyapıya sahip olmalarını sağlamaktır.

Veri Toplama Aracı ve Süreç

Çalışmada veri toplama aracı olarak, araştırmacılar tarafından hazırlanan ve uzman görüşü alınarak son haline getirilen bir yazılı analiz formu kullanılmıştır. Buradaki uzmanlar matematik eğitimi alanında çalışan öğretim üyeleridir. Bu form, somut bir ders senaryosunu içeren bir transkript ve öğretmen adaylarının bu transkriptteki soruları incelemesi için hazırlanan sorulardan oluşmaktadır. Transkript araştırmacılar tarafından kurgusal olarak tasarlanmıştır. Veri toplama sürecine katılan katılımcıların gönüllülük esası gözetilmiştir.

Veri toplama formundaki ders senaryosu, Milli Eğitim Bakanlığı (MEB) matematik öğretim programındaki 6. Sınıf "Dairenin Alanı" konusu üzerinden kurgulanmıştır. Senaryodaki öğrencilerin hazırbulunuşluk düzeyi; çemberin çevre uzunluğunu hesaplamayı ve dikdörtgenin alanını bulmayı bilmekle sınırlıdır; yani öğrenciler dairenin alan formülünü henüz öğrenmemişlerdir. Derste öğretmen, GeoGebra yazılımını kullanarak daireyi dilimlere ayırmakta ve bu dilimleri yan yana dizerek bir dikdörtgene benzetmektedir. Öğretmen adaylarından, bu keşif sürecinde öğretmenin sorduğu şu yedi "neden" sorusunu incelemeleri istenmiştir: “Neden büyüklüğüne dikkat ederdin?", “Neden çarpıyoruz da toplama yapmıyoruz?", “Neden hesaplayamayız?", “Dilimlere ayırmak neden işimize yarayabilir?", “Neden dikdörtgene benzer?", “Neden yarıçap?” ve “Neden yarısı?”.

Uygulama sürecinde 17 öğretmen adayından, bu diyalog akışını titizlikle inceleyerek formda listelenen yedi soru için Melhuish vd. (2024) tarafından sunulan "Alan Açıklaması" kuramsal çerçevesine dayalı olarak şu ardışık zihinsel ve pedagojik adımları gerçekleştirmeleri talep edilmiştir:

1. Sorunun ders akışındaki mevcut bilişsel seviyesini Melhuish vd. (2024) çerçevesine göre "Düşük", "Orta" veya "Yüksek" olarak belirlemek.
2. Bu seviye kararının nedenini, öğrenci yanıtlarını ve dersin bağlamını dikkate alarak gerekçelendirmek.
3. Eğer soru düşük veya orta seviyeliyse, bu soruyu öğrenciden kavramsal bir açıklama talep edecek şekilde yüksek seviyeli bir soru olarak yeniden yazmak.

Verilerin Analizi

Öğretmen adaylarının analiz formuna yansıttıkları yazılı yanıtların, kararlarının ve sundukları alternatif soru önerilerinin çözümlenmesinde, araştırma sorularının niteliğine uygun olarak hem tümdengelimsel hem de tümevarımsal nitel içerik analizi teknikleri bir arada kullanılmıştır

(Hsieh & Shannon, 2005; Miles vd., 2020; Schreier, 2012). Analiz süreci iki temel aşamada yürütülmüştür. Tümdengelimsel kodlama kısmında katılımcıların diyalogda yer alan yedi neden sorusuna ilişkin belirledikleri mevcut bilişsel seviyeler (düşük, orta, yüksek), Melhuish vd. (2024) tarafından ortaya konan kuramsal çerçeveye göre önceden belirlenmiş kategoriler doğrultusunda sınıflandırılmıştır. Tümevarımsal kodlama kısmında ise öğretmen adaylarının bu seviyelere ilişkin sundukları nitel gerekçeler ile soruları yüksek seviyeye dönüştürmek için kullandıkları pedagojik stratejiler önceden belirlenmiş bir şablona sığdırılmamış; verilerden hareketle açık kodlama yapılandırılarak alt kategoriler ve temalar türetilmiştir. Bu doğrultuda analiz basamakları ana temalar altında şu şekilde yürütülmüştür:

Nicel Frekans Dağılımı ve Seviye Sınıflandırması: Katılımcıların yedi soruya verdikleri seviye kararları frekans analizine tabi tutulmuş; "ezbere dayalı kural hatırlatma" (Düşük), "görsel/sezgisel tespitler ve tanıma uygunluk" (Orta) ile "kavramsal savunma ve ispat talebi" (Yüksek) kodları üzerinden eğilimler saptanmıştır.

Sınıflandırma Gerekçeleri: Öğretmen adaylarının kararlarına dayanak gösterdikleri pedagojik unsurlar; "Bağlamsal Dayanaklar" (günlük yaşam pratikleri, matematiksel olmayan bağlam), "Bilişsel İstemi Belirleyiciler" (formülün ezbere söylenmesi, işlem adımlarının tekrarı) ve "Matematiksel Alan Açıklaması" (yarıçap-yükseklik ilişkisi, alan-çevre bağıntısı) alt kategorilerine göre ayrıştırılmıştır.

Yeniden Yapılandırma Stratejileri: Katılımcıların ürettiği alternatif sorular; "Sorgulama Derinliğini Artırma" (ispat talebi, matematiksel neden isteme), "Temsil ve Modele Yönlendirme" (GeoGebra gözlemini kanıta dökme, şekil dönüşüm gerekçesi) ve "Zıtlık Duyarlılığı Oluşturma" (van Fraassen, 1980 çerçevesine uygun zıt durumlar üzerinden savunma isteme) kodlarına göre çözümlenmiştir.

Geçerlik ve Güvenirlik

Araştırmanın güvenirliğini ve inandırıcılığını sağlamak için analiz sürecinde gerekli önlemler alınmıştır (Creswell & Poth, 2018). Verilerin analizinde öznelliği azaltmak ve tutarlılığı artırmak amacıyla, toplanan formlar araştırmacı ve alan uzmanı olmak üzere iki kişi tarafından birlikte incelenmiştir. Analiz sürecinde ortaya çıkan kodlar ve temalar üzerinde fikir birliğine varılana kadar tartışılmış, veriler ortak kararla son haline getirilmiştir. Ayrıca, bulguların doğruluğunu ve şeffaflığını göstermek amacıyla öğretmen adaylarının formlara yazdığı ifadelerden doğrudan alıntılara yer verilmiş ve çalışmanın tüm aşamaları detaylıca açıklanmıştır.

BULGULAR

Bu çalışmada, 17 matematik öğretmen adayının Dairenin Alanı ders diyaloğundaki neden sorularını analiz etme ve yeniden yapılandırma becerilerine ilişkin elde edilen bulgular sunulmuştur. Araştırmanın iki aşamalı analiz sürecine paralel olarak bulgular 4 ana başlık altında yapılandırılmıştır. İlk iki başlıkta Melhuish vd. (2024) kuramsal çerçevesine dayalı önceden belirlenmiş kategoriler üzerinden yürütülen tümdengelimsel (yönlendirilmiş) analiz sonuçlarına yer verilmiştir. Son iki başlıkta ise, öğretmen adaylarının seviye kararlarına sundukları gerekçeler ile soruları dönüştürme stratejilerine ilişkin yürütülen tümevarımsal (açık kodlamaya dayalı) içerik analizi sonuçları sunulmuştur.

1. Veri Toplama Aracı Üzerinden Neden Sorularının Nicel Frekans Analizi

"Dairenin Alanı" diyaloğundaki yedi farklı "neden" sorusu, öğretmen adayları tarafından bilişsel seviyelerine göre sınıflandırılmıştır. Adayların her bir soru ve buna bağlı öğrenci yanıtı için verdikleri seviye kararlarının güncellenmiş frekans dağılımı Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Diyalogdaki Neden Soruları, Beklenen Yanıtlar ve Katılımcı Seviye Dağılımı (n=17)

Diyalogdaki "Neden" Sorusu	Öğrenci Yanıtı (Bağlam)	Düşük (f)	Orta (f)	Yüksek (f)
“Neden büyüklüğüne dikkat ederdin?"	"Çünkü ne kadar halı alacağımızı belirleriz."	11	6	0
"Neden çarpıyoruz da toplama yapmıyoruz?"	"Çünkü dikdörtgenin alanını bulurken çarpıyoruz."	11	6	0
"Neden hesaplayamayız?"	"Çünkü kenarları düz değil."	9	8	0
"Dilimlere ayırmak neden işimize yarayabilir?"	"Çünkü parçalayınca daha kolay hesaplanır."	0	13	4
"Neden dikdörtgene benzer?"	"Çünkü düz bir şekil gibi olur."	1	12	4
“Neden yarıçap?”	"Çünkü merkezden dışa kadar olan mesafe o."	0	11	6
“Neden yarısı?”	"Çünkü açınca iki tarafa ayrılıyor."	1	8	8

Tablo 1’de sunulan veriler, matematik öğretmen adaylarının ders içi diyaloglardaki "neden" sorularının bilişsel potansiyelini nasıl değerlendirdiklerini ve bu soruları Melhuish vd. (2024) tarafından önerilen "Alan Açıklaması" kuramsal çerçevesine nasıl oturttuklarını detaylı bir şekilde ortaya koymaktadır.

“Neden büyüklüğüne dikkat ederdin?" sorusu, adayların büyük çoğunluğu (%65) tarafından düşük seviyeli olarak kodlanmıştır. Adayların sunduğu gerekçeler, bu sorunun matematiksel bir muhakemeden ziyade günlük yaşam pratiğine dayalı bir yanıt beklediği üzerinedir. Öğrencinin "ne kadar halı alacağımızı belirleriz" yanıtı, adaylarca "matematiksel olmayan bir bağlam" olarak nitelendirilmiş ve alan açıklaması içermediği için bilişsel istemi zayıf bulunmuştur.

"Neden çarpıyoruz da toplama yapmıyoruz?" sorusunda adaylar, öğrencinin zihnindeki kavram yanılgısını yoklama potansiyeli görseler de öğrencinin verdiği "Çünkü çarpıyoruz" yanıtını bir ezber onayı olarak değerlendirmişlerdir. Adaylara göre bu soru, öğrenciyi çarpma işleminin alan hesabındaki mantıksal gerekliliğini (birim karelerin yüzeyi kaplaması gibi) açıklamaya sevk etmemekte, sadece ritüelleşmiş bir prosedürün tekrarını istemektedir.

"Neden hesaplayamayız?" ve "Neden dikdörtgene benzer?" soruları, adaylarca ağırlıklı olarak orta seviye kategorisine yerleştirilmiştir. Adaylar, "kenarları düz değil" veya "düz bir şekil gibi olur" yanıtlarını öğrencinin GeoGebra modellemesi üzerinden yaptığı görsel/sezgisel tespitler olarak tanımlamışlardır. Bu soruların neden yüksek seviye olamadığına dair temel gerekçe, öğrencinin bu görsel durumu matematiksel bir gerekçeyle (örneğin limit düşüncesi veya eğri kenarların alan üzerindeki etkisi) ilişkilendirememesidir. Öğrenci sadece gördüğünü betimlemekte, nedenini kanıtlamamaktadır.

“Neden yarıçap?” ve “Neden yarısı?” soruları, diyalogdaki bilişsel istemin en üst noktaya çıktığı aşamalar olarak görülmüştür. Özellikle "Neden yarısı?" sorusu adayların yaklaşık yarısı tarafından yüksek seviyeli bulunmuştur; çünkü bu soru öğrencinin dairenin çevre uzunluğu ile dikdörtgenin taban uzunluğu arasında bir matematiksel bağıntı kurmasını talep etmektedir.
Ancak adayların bir kısmı, öğrencinin "açınca iki tarafa ayrılıyor" şeklindeki görsel yanıtı nedeniyle bu soruyu orta seviyede bırakmışlardır. Bu durum, adayların sorunun potansiyeli ile öğrenci yanıtının niteliği arasındaki ayrımı (alan açıklaması eksikliği) net bir şekilde yapabildiklerini göstermektedir.
"Dilimlere ayırmak neden işimize yarayabilir?" sorusunda adaylar, sorunun stratejik bir avantaj sorguladığını fark etmişlerdir. Adaylar, öğrencinin "kolay hesaplanır" yanıtını yüzeysel bulmuş; bu sorunun gerçek bir yüksek seviyeli soru olabilmesi için "zor bir şekli bildiğimiz kolay bir şekle dönüştürme mantığının" (alanın korunumu ilkesi) sorgulanması gerektiğini savunmuşlardır.
Özetle Tablo 1, öğretmen adaylarının bir "neden" sorusunun kalitesini, sorunun dilbilimsel yapısından ziyade zıtlık duyarlılığı yaratıp yaratmadığına ve öğrenciden matematiksel nesneler (yarıçap, çevre, alan) arasında bir savunma (alan açıklaması) bekleyip beklemediğine göre değerlendirdiklerini kanıtlamaktadır.

2. Neden Sorularının Bilişsel Seviye Sınıflandırması

Öğretmen adaylarının diyalogdaki soruları hangi bilişsel düzeyde kodladıkları ve bu süreçte öğrenci yanıtlarını nasıl değerlendirdiklerine dair bulgular Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2: Neden Sorularının Bilişsel Seviyelerine Göre Sınıflandırılması ve Örnek İfadeler

Tema	**Kategori**	**Kodlar**	**Örnek Öğretmen Adayı İfadelerinden Örnekler**
Bilişsel Seviye Sınıflandırması	Düşük Seviye	Ezberlenmiş kural hatırlatma, işlem adımı onayı, bilişsel çaba eksikliği.	*"Öğrenci ezbere bildiği bilgiyi cevap olarak vermiş"* *"Sadece işlemi doğrulayan ezberlenmiş kural ile ilgili sorgulama sorusu". "Öğrenci sadece 'alanı bulurken çarpıyoruz' diyerek ezberlediği kuralı söylüyor".*
	Orta Seviye	Tanıma uygunluk sorgulama, matematiksel olmayan gerekçe, görsel/sezgisel tespit.	*"Matematiksel bir düşünce yok ama günlük yaşama göre cevap vermiş"."Görsel olarak ilk bakışta dikdörtgeni andırdığı için dikdörtgen benzetmişlerdir. Sezgisel". "Öğrenci dairenin kenarlarının olduğunu fakat düz olmadığını düşünüyor".*
	Yüksek Seviye	Kavramsal savunma talebi, strateji gerekçelendirme, matematiksel iddiayı kanıtlama.	*"Matematiksel muhakeme ve akıl yürütme içermekte, modelleme kullanılmakta". "Öğrencinin matematiksel olarak bir gerekçe sunmasını istiyor". "Öğrencinin 'büyüklük' diye bahsettiği kavramı sorgulaması ve ne işe yaradığını düşünmesi gerekir".*

Öğretmen adaylarının sınıflandırma eğilimleri incelendiğinde, bir sorunun "neden" ifadesiyle başlamasının tek başına yüksek bilişsel istem yaratmadığını fark ettikleri görülmektedir. Adaylar, özellikle "Neden çarpıyoruz?" gibi işlemsel soruları, öğrencinin sadece ezberlenmiş bir prosedürü (ritüelleşmiş adım) tekrar etmesine olanak tanıdığı gerekçesiyle düşük seviyeli olarak nitelendirmişlerdir. Analizler, adayların bir soruyu orta seviye olarak kodlamasındaki temel etkenin, öğrencinin sadece görsel verilere (örneğin "kenarları düz değil") dayalı, alan açıklaması içermeyen yüzeysel tespitler yapması olduğunu ortaya koymaktadır. Buna karşılık,

öğrenciyi bir model üzerinden (GeoGebra etkinliği gibi) kavramsal bir savunma yapmaya zorlayan sorular, adaylar tarafından yüksek seviyeli olarak kabul edilmiştir; çünkü bu tür sorular öğrencinin sadece "ne yaptığını" değil, "neden o yöntemin işe yaradığını" gerekçelendirmesini beklemektedir.

3. Sınıflandırma Sürecindeki Gerekçelendirme Dayanakları

Öğretmen adaylarının seviye kararlarına sundukları nitel gerekçelerin tümevarımsal içerik analizi neticesinde ulaşılan kategori ve kodlar Tablo 3'te sunulmuştur. Adayların soruların seviyelerini belirlerken odaklandıkları pedagojik unsurlar "Sınıflandırma Dayanakları" teması altında kategorize edilmiştir.

Tablo 3: Seviye Belirleme Gerekçelerine İlişkin İçerik Analizi ve Örnek İfadeler

Tema	**Kategori**	**Kodlar**	**Örnek Öğretmen Adayı İfadelerinden Örnekler**
Sınıflandırma Gerekçeleri	Bağlamsal Dayanaklar	Günlük yaşam pratikleri, matematiksel olmayan bağlam, görsel uyma.	*"Burada matematiksel bir muhakeme henüz yapılmamış. Günlük hayata ile ilgili bir soru". "Öğrenci 'açınca iki tarafa ayrılıyor' diyerek durumu sadece görsel olarak ifade ediyor". "Öğrenci Geogebra üzerinde bu şekli gözlemliyor fakat hala şekillerde düzlük arıyor".*
	Bilişsel İstemi Belirleyiciler	Formülün ezbere söylenmesi, kavram yanılgısını yoklama, işlem adımlarının tekrarı.	*"Öğrenci henüz alması gereken ipucunu alamamışken direkt olarak neden işimize yarayabilir sorusu öğrencinin kendi düşünsel sürecinin önüne set çekmiş". "Soru olumsuz bir tutumla sorulmuş, öğrenciyi teşvik etmiyor". "Öğrenci formüle hakim ama ezber seviyesinde yanıt vermiş".*
	Matematiksel Alan Açıklaması	Yarıçap-yükseklik ilişkisi, alan-çevre bağıntısı, tanım yorumlama.	*"Öğrenci yarıçap tanımını biliyor ancak yüksekliğin neden yarıçap olduğunu alan modeliyle ilişkilendirmiyor". "Öğrenci öğrendiği matematiksel tanımı yorumlamadan söylüyor". "Öğrenci halının büyüklüğünün önemli olduğunu söylemiş ancak bunun alan kavramıyla ilişkisini açıklamamıştır".*

Öğretmen adaylarının gerekçeleri derinlemesine incelendiğinde, Melhuish vd. (2024) tarafından tanımlanan "Alan Açıklaması Duyarlılığı" konusundaki farkındalıkları ön plana çıkmaktadır. Adaylar, öğrencinin matematik dışı (günlük yaşam) gerekçelerini, problemin matematiksel özüne dokunmadığı için yetersiz bulmuşlardır. Özellikle, öğrencinin GeoGebra modelindeki görsel değişimi sadece "benzeme" üzerinden açıklaması, adaylar tarafından tanım yorumlama eksikliği olarak kodlanmıştır. Gerekçelerde dikkat çeken bir diğer nokta, adayların öğretmenin soru sorma zamanlamasını ve tutumunu eleştirmeleridir; bazı adaylar, öğrencinin

henüz hazır olmadığı bir aşamada sorulan "neden" sorusunun düşünsel sürece ket vurduğunu savunmuştur. Bu durum, adayların sadece matematiksel içeriğe değil, aynı zamanda diyalogdaki pedagojik akışa da duyarlı olduklarını göstermektedir.

4. Soruları Yüksek Seviyeye Taşıma (Yeniden Yapılandırma) Stratejileri

Adayların düşük ve orta seviyeli soruları dönüştürürken kullandıkları pedagojik stratejilere ilişkin yapılan açık kodlama ve tümevarımsal analiz sonuçları Tablo 4'te yer almaktadır. Öğretmen adaylarının düşük ve orta seviyeli soruları, öğrenciden matematiksel bir alan açıklaması talep edecek şekilde yeniden yapılandırma becerileri Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4: Soruları Yüksek Seviyeye Taşıma Stratejileri ve Örnek Yeniden Yapılandırılmış Sorular

Tema	**Kategori**	**Kodlar**	**Örnek Aday Yeniden Yapılandırma İfadeleri**
Soruları Yeniden Yapılandırma	Sorgulama Derinliğini Artırma	İspat talebi, matematiksel neden isteme, kavramsal bağıntı kurma.	*"Dikdörtgende alan bulurken en ve boyu çarpmamızın mantığı nedir? İçine yerleştireceğimiz birim kareler üzerinden bu kuralın neden işe yaradığını nasıl ispatlarsın?". "Dairenin yapısı, dikdörtgenlerde kullandığımız alan yönteminin uygulanmasını neden zorlaştırır?".* *"Kenarları çarptığımızda aslında dikdörtgenin içindeki küçük birim kareleri nasıl saymış oluyoruz? Toplama yapsaydık neden eksik kalırdı?".*
	Temsil ve Modele Yönlendirme	GeoGebra gözlemini kanıta dökme, şekil dönüşüm gerekçesi.	*"Dilim sayısı arttıkça o tırtıklı kenarların neden düzleştiğini ve şeklin neden bir dikdörtgen gibi görünmeye başladığını nasıl açıklarsın?".* *"Dilimleri yan yana getirdiğimizde oluşan şekil neden dikdörtgenleşiyor, daha fazla dilimlere ayırsak daha belirgin olur mu?".* *"Oluşan şeklin yüksekliğinin neden dairenin yarıçapına eşit olduğunu geometrik gerekçesiyle açıkla".*
	Zıtlık Duyarlılığı Oluşturma	Zıt durumlar üzerinden savunma isteme, çevre-alan ilişkisi kurma.	*"Dairenin tüm çevresi 2πr iken, dilimleri altlı üstlü dizdiğimizde neden sadece yarısı (πr) dikdörtgenimizin taban uzunluğunu oluşturur?".* *"Çevrenin tamamını tek bir kenara toplamamız neden dairenin alanıyla olan matematiksel bağı koparır?".* *"Alacağımız halı dikdörtgen olmasaydı kocaman bir daire olsaydı nasıl yapardık?".*

Yeniden yapılandırma sürecinde öğretmen adaylarının, Van Fraassen (1980) tarafından vurgulanan zıtlık duyarlılığını etkili bir şekilde kullandıkları görülmektedir. Adaylar, düşük seviyeli soruları yüksek seviyeye taşırken "Neden o değil de bu?" (örneğin "Neden toplama değil de çarpma?") yapısını kullanarak öğrenciyi bir seçimi savunmaya teşvik etmişlerdir. Ayrıca, adayların büyük bir kısmı, soyut kavramları ispat ve modelleme ile somutlaştıran soru kökleri geliştirmiştir. Özellikle "birim karelerle yüzeyi kaplama" ve "limit mantığına hazırlık" içeren sorular, adayların matematiksel derinliği artırmak için temsiller arası geçişleri (daireden dikdörtgene dönüşüm gibi) ustalıkla kullandıklarını kanıtlamaktadır.

Yapılan içerik analizi, öğretmen adaylarının soruların bilişsel taleplerini Melhuish vd. (2024) tarafından sunulan "alan açıklaması" kavramına karşı güçlü bir farkındalık kazandıklarını göstermektedir. Adaylar, öğrencinin ezbere dayalı veya görsel odaklı yanıtlarını teşhis etmekle kalmamış, bu durumları aşmak için matematiksel nesneler (yarıçap, çevre, alan) arasındaki bağıntıları sorgulatan nitelikli bir dil geliştirmişlerdir.

TARTIŞMA

Bu araştırmada ilköğretim matematik öğretmen adaylarının, "dairenin alanı" konusundaki bir ders transkripti üzerinden "neden" sorularını analiz etme ve yeniden yapılandırma becerileri incelenmiştir. Elde edilen bulgular, adayların Melhuish vd. (2024) tarafından önerilen "Alan Açıklaması" çerçevesini kullanarak soruların bilişsel derinliğini teşhis etmede ve bu soruları daha nitelikli formlara dönüştürmede önemli bir farkındalık kazandıklarını göstermektedir. Öğretmen adayları, diyalogdaki "Neden büyüklüğüne dikkat ederdin?" gibi soruları büyük bir tutarlılıkla (%65) düşük seviyeli olarak sınıflandırmıştır. Adayların bu kararlarındaki temel gerekçe, sorunun matematiksel bir muhakeme yerine günlük yaşam pratiğine (halı alma örneği) dayalı bir yanıt beklemesidir. Bu bulgu, Sandborg'un (1998) matematiksel açıklamaların sadece bir soruyu yanıtlamak değil, mevcut aksiyom ve yapılarla bir "alan açıklaması" sunma gerekliliği teziyle örtüşmektedir. Literatürde belirtildiği üzere, öğretmenlerin sınıf içinde matematiksel olmayan bağlamları gerekçe olarak kabul etmesi, öğrencilerin kavramsal derinleşmesini kısıtlamaktadır (Melhuish vd., 2024). Araştırmanın dikkat çekici bulgularından biri, adayların "Neden çarpıyoruz?" gibi işlemsel soruları "ezber onayı" olarak nitelendirmeleridir. Adaylar, öğrencinin "Çünkü alan bulurken çarpıyoruz" şeklindeki yanıtını "ritüelleşmiş bir adım" olarak görmüşlerdir. Bu durum, Özkan (2011) ve Bozkurt vd. (2017) tarafından vurgulanan, Türkiye'deki matematik sınıflarında soruların %70-%90'ının düşük bilişsel seviyede (hatırlama ve hesaplama) kaldığı gerçeğiyle paralellik göstermektedir. Adayların bu soruları "düşük seviye" olarak teşhis edebilmesi, onların sadece doğru cevaba değil, cevabın altındaki mantıksal yapıya odaklandıklarını ve Toluk Uçar'ın (2011) vurguladığı öğretmen adaylarının matematiksel sorgulama becerilerinin geliştirilmesi ihtiyacını fark ettiklerini kanıtlamaktadır. Diğer taraftan, "Neden hesaplayamayız?" sorusunda adayların düşük (f=9) ve orta (f=8) seviye arasında kararsız kalması, alan yazında öğretmenlerin dinamik geometri yazılımları (GeoGebra) eşliğindeki öğrenci argümanlarını değerlendirmede yaşadıkları karmaşayı yansıtmaktadır. Adayların bir kısmı "kenarları düz değil" yanıtını ham bir kural hatırlatma (düşük) olarak görürken, bir kısmı model üzerindeki anlık saptama (orta) olarak kodlamıştır. Buna karşılık, "Neden dikdörtgene benzer?" sorusunun adaylarca ağırlıklı olarak "orta seviye" kodlanması, adayların "görmek" ile "matematiksel olarak bilmek" arasındaki farkı kavradıklarını göstermektedir. Adaylar, öğrencinin sadece görsel bir benzemeyi ifade etmesini (sezgisel tespit) yeterli bulmamış; gerçek bir yüksek seviye sorunun "limit düşüncesi" veya "eğri kenarların alan üzerindeki etkisi" gibi matematiksel gerekçeler talep etmesi gerektiğini savunmuşlardır. Bu farkındalık, Melhuish vd. (2024) çerçevesindeki "alan açıklaması" duyarlılığının adaylar tarafından içselleştirildiğini göstermektedir. Çalışmada "Neden yarıçap?" ve "Neden yarısı?" sorularının en yüksek seviyelerine ulaştığının katılımcılarca tespit edilmesi, adayların kavramsal ilişkilendirme potansiyeline olan duyarlılıklarını ortaya koymaktadır. Katılımcılar, sorunun öğrenciden dairenin çevre uzunluğu ile dikdörtgenin taban uzunluğu arasında matematiksel bir alan açıklaması ve savunma talep ettiğini net bir şekilde ayırt edebilmişlerdir. Bu süreçte katılımcıların, öğretmenin transkriptteki soru sorma zamanlamasını ve olumsuz tutumunu eleştirmeleri, Şahbaz ve Kula Ünver (2024) tarafından belirtilen öğretmenlerin soru sorma stratejilerinin sadece içeriği değil, pedagojik akışı da yönetmesi gerektiği fikrini desteklemektedir. Katılımcıların düşük seviyeli soruları düzeltirken Van Fraassen'in (1980) "zıtlık duyarlılığı" (contrast sensitivity) ilkesini kullandıkları görülmüştür. Örneğin, katılımcılar "Neden çarpıyoruz?" sorusunu "Neden toplama değil de çarpma yapıyoruz?" şeklinde değiştirerek öğrenciyi bir seçimi matematiksel olarak savunmaya zorlamışlardır. Bu strateji, Franke vd. (2009) tarafından vurgulanan, öğrencinin düşüncesini detaylandırmasını sağlayan "inceleme/probing" sorularıyla uyumludur. Katılımcılar, soruları yapılandırırken soyut kavramları GeoGebra modelleriyle ilişkilendirerek

Stylianides ve Stylianides (2009) tarafından önerilen ampirik argümanlardan matematiksel ispat odaklı bir pedagojik dile geçişi başarıyla simüle etmişlerdir.

SONUÇ

Bu araştırma, ilköğretim matematik öğretmen adaylarının "dairenin alanı" konusundaki bir ders transkripti üzerinden "neden" sorularının bilişsel derinliğini analiz etme ve yeniden yapılandırma becerilerini incelemiş; elde edilen bulgular doğrultusunda şu temel sonuçlara ulaşılmıştır:

Bilişsel Seviye Teşhisinde "Alan Açıklaması" Farkındalığı: Öğretmen adayları Melhuish vd. (2024) tarafından önerilen çerçeveyi kullanarak, bir sorunun sadece "neden" ifadesiyle başlamasının onu otomatik olarak üst düzey yapmadığını, sorunun asıl değerinin öğrenciden talep edilen "alan açıklaması" derinliğinde yattığını saptamışlardır. Adayların büyük çoğunluğu, günlük yaşam bağlamına dayalı (halı örneği) veya sadece prosedürel bir adımın onaylanmasını bekleyen ("Neden çarpıyoruz?") soruları "düşük seviyeli" olarak kodlamışlardır. Bu durum, adayların literatürde "ritüelleşmiş etkileşim" olarak tanımlanan ve sadece ezberlenmiş bilginin geri çağrılmasını isteyen yapıları (Bozkurt vd., 2017; Özkan, 2011) akademik bir duyarlılıkla teşhis edebildiklerini göstermektedir.

Görsel Sezgi ile Matematiksel Kanıt Arasındaki Ayrım ve Değerlendirme İkilemleri: Araştırma sonucunda, adayların "orta seviyeli" soruları tanımlarken "görsel/sezgisel tespit" ile "matematiksel gerekçelendirme" arasında net bir sınır çizdikleri görülmüştür. Adaylar, öğrencilerin GeoGebra üzerindeki modellemeden yola çıkarak yaptıkları "kenarları düz değil" gibi betimsel yanıtlarını, bir "alan açıklaması" (Sandborg, 1998) içermediği için yüksek seviye olarak kabul etmemişlerdir. Öte yandan, bu soruda adayların düşük ve orta seviye kodlamaları arasında kararsız kalması, dinamik yazılımlardaki anlık görsel saptamaların bilişsel istemini ağırlıklandırmada yaşadıkları sınırları göstermektedir. Buna karşın adaylar, matematiksel bir açıklamanın sadece "ne gördüğünü söylemek" değil, mevcut aksiyomlar ve limit düşüncesi gibi kavramsal yapılarla iddiayı savunmak olduğunu kavramışlardır.

Yeniden Yapılandırmada "Zıtlık Duyarlılığı" ve Stratejik Müdahale: Düşük ve orta seviyeli soruları "yüksek seviyeye" dönüştürme sürecinde öğretmen adaylarının, Van Fraassen (1980) tarafından vurgulanan "zıtlık duyarlılığını" etkili bir pedagojik araç olarak kullandıkları saptanmıştır. Adaylar, "Neden çarpma yapıyoruz?" gibi kapalı uçlu soruları, "Neden toplama değil de çarpma yapıyoruz?" veya "Alacağımız halı dikdörtgen değil de daire olsaydı ne değişirdi?" gibi karşıtlık sınıfları oluşturarak yeniden kurgulamışlardır. Bu tür yapılandırmalar, öğrenciyi bir seçimi matematiksel olarak savunmaya zorlayarak, kolektif argümantasyon sürecini (Conner vd., 2014) tetikleme potansiyeline sahiptir.

Model ve Temsil Odaklı Sorgulama Yetkinliği: Adayların, soyut matematiksel bağıntıları (yarıçap, çevre, alan) GeoGebra modellemesi üzerinden somutlaştıran soru kökleri geliştirme konusunda yetkinlik sergiledikleri sonucuna varılmıştır. Özellikle "dilim sayısı arttıkça şeklin neden dikdörtgenleştiği" veya "yüksekliğin neden yarıçapa eşit olduğu" gibi sorular, adayların öğrencileri sadece kural hatırlamaya değil, şekil dönüşümü üzerinden ispat odaklı düşünmeye (Franke vd., 2009) yönlendirebildiklerini göstermektedir.

Pedagojik Akış ve Zamanlama Duyarlılığı: Son olarak, adayların sadece sorunun içeriğine değil, diyalogdaki pedagojik akışa da eleştirel bir bakış açısı geliştirdikleri görülmüştür. Bazı adaylar, öğretmenin öğrenci henüz hazır olmadan sorduğu "neden" sorularının düşünsel sürece ket vurduğunu belirterek, sorgulama sürecinde zamanlamanın ve öğrenci hazırbulunuşluğunun önemini vurgulamışlardır. Bu durum, adayların pedagojik alan bilgilerinin teorik düzeyden, sınıf içi söylemi yönetme düzeyine evrildiğinin önemli bir göstergesidir.

Özetle bu çalışma; sistemli bir analizin, öğretmen adaylarının "neden" sorularını dilbilgisel bir

formdan çıkarıp, öğrencilerin üst düzey akıl yürütme süreçlerini tetikleyen işlevsel ve bilişsel birer "iskele" (scaffolding) olarak yapılandırmalarını sağladığını ortaya koymuştur.

ÖNERİLER

Elde edilen sonuçlar doğrultusunda şu öneriler getirilebilir:

Öğretmen yetiştirme programlarındaki Matematik Öğretimi derslerinde, adaylara sadece "soru sorma" teknikleri değil, gerçek sınıf transkriptleri ve video kayıtları üzerinden öğrenci yanıtlarının alan açıklaması (mathematical explanation) düzeyini analiz etme pratikleri yaptırılmalıdır.

Dinamik geometri yazılımlarının (GeoGebra vb.) kullanıldığı derslerde, öğrencilerin anlık görsel/sezgisel tespitlerini ispat ve limit odaklı yüksek bilişsel istemli süreçlere taşıyacak "zıtlık duyarlılığı" içeren soru senaryolarının tasarlanmasına yönelik mikro-öğretim uygulamaları artırılmalıdır.

Gelecek araştırmalarda, öğretmen adaylarının transkriptler üzerindeki bu teorik sorgulama ve yapılandırma becerilerinin, gerçek sınıf içi öğretmenlik uygulamalarındaki (staj süreçlerindeki) eylemlerine ne derece yansıdığı video destekli boylamsal çalışmalarla incelenmelidir.

Kaynakça

Bolden, G. B., & Robinson, J. D. (2011). In pursuit of understanding: Investigative "why"-questions in family interaction. Discourse Studies, 13*(3), 253–287.*

Bozkurt, A., Kılıç, Ö., & Özmantar, M. F. (2017). Matematik öğretmenlerinin sınıf içi soru sorma örüntüleri. Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 37*(1), 1–28.*

Chazan, D., & Sandow, D. (2011). "Why" questions, didactic contracts, and the explanation of mathematical activity. Educational Studies in Mathematics, 77*(2-3), 253–269.*

Conner, A., Singletary, L. M., Smith, R. C., Wagner, P. A., & Francisco, R. T. (2014). Teacher support for collective argumentation: A framework for examining a teacher's role in guiding argumentative discourse. Educational Studies in Mathematics, 86*(3), 401–425.*

Cox, R. (2019). The logic of why-questions. Synthese, 196*(11), 4645–4667.*

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

Cumhur, F., & Güven, B. (2018). Matematik öğretmeni adaylarının sınıf içi soru sorma becerilerinin gelişiminin incelenmesi. İlköğretim Online, 17*(2), 703–723.*

DeJarnette, A. F., Walen, S. B., & Hord, C. (2020). The role of "why" questions in supporting students' mathematical reasoning. Teaching Children Mathematics, 26*(4), 24–31.*

Faye, J. (1999). Explanation, questions, and theories. Inquiry, 42*(3-4), 399–416.*

Franke, M. L., Webb, N. M., Chan, A. G., Ing, M., Freund, D., & Battey, D. (2009). Generative press: Teacher interventions that promote educative student collaboration. Teaching and Teacher Education, 25*(2), 380–389.*

Graesser, A. C., Person, N. K., & Huber, J. D. (1992). Question asking during tutoring. American Educational Research Journal, 29*(1), 169–174.*

Hsieh, H. F., & Shannon, S. E. (2005). Three approaches to qualitative content analysis. Qualitative Health Research, *15(9), 1277–1288.*

Knuth, K. J. (2002). Secondary school mathematics teachers' conceptions of proof. Journal for Research in Mathematics Education, 33*(5), 379–405.*

Melhuish, K. M., Strickland, S. K., Han, S., & Sorto, M. A. (2024). Why ask why? An analysis of teachers' why-questions in elementary and middle grade mathematics classrooms. *Journal of Mathematics Teacher Education, 27(3), 221–241.*

Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2020). Qualitative data analysis: A methods sourcebook *(4th ed.). SAGE Publications.*

Millî Eğitim Bakanlığı. (2023). Öğretmenlik mesleği genel yeterlikleri. *Öğretmen Yetiştirme ve Geliştirme Genel Müdürlüğü.*

National Council of Teachers of Mathematics. (2014). Principles to actions: Ensuring mathematical

success for all. *NCTM.*
Özkan, E. M. (2011). Matematik derslerinde öğretmen sorularının bilişsel düzeyleri ve öğrenci yanıtları ile ilişkisi *(Yayımlanmamış yüksek lisans tezi). Gazi Üniversitesi.*
Patton, M. Q. (2015). Qualitative research & evaluation methods: Integrating theory and practice *(4th ed.). SAGE Publications.*
Ramsey, P. G., Gabbard, C. P., & Kaslow, N. J. (1990). The Socratic method: A review of theory and research. Journal of Instructional Psychology, 17*(3), 128–136.*
Roessler, J. (2014). Reason-giving and the why-question. Philosophy and Phenomenological Research, 89*(1), 1–25.*
Şahin, A., & Kulm, G. (2008). Sixth grade mathematics teachers' intentions and use of questions. Journal of Mathematics Teacher Education, 11*(3), 221–241.*
Sandborg, D. (1998). Mathematical explanation and the theory of why-questions. British Journal for the Philosophy of Science, 49*(4), 603–624.*
Schreier, M. (2012). Qualitative content analysis in practice. *SAGE Publications.*
Stylianides, G. J., & Stylianides, A. J. (2009). Facilitating the transition from empirical arguments to proof. Journal for Research in Mathematics Education, 40*(3), 314–352.*
Şahbaz, A. S., & Kula Ünver, S. (2024). Ortaokul matematik öğretmenlerinin sınıf içi soru sorma stratejilerinin incelenmesi. Eğitim ve Bilim*.*
Temple, D. (1988). The pragmatics of why-questions. Erkenntnis, 28*(2), 141–164.*
Toluk Uçar, Z. (2011). İlköğretim matematik öğretmen adaylarının matematiksel sorgulama becerileri. Eğitim ve Bilim, 36*(161), 223–236.*
Van Fraassen, B. C. (1980). The scientific image. *Oxford University Press.*
Yackel, E., & Cobb, P. (1996). Sociomathematical norms, argumentation, and autonomy in mathematics. Journal for Research in Mathematics Education, 27*(4), 458–477.*
Yetkin Özdemir, İ. E., & Kayhan Altay, M. (2016). Matematik öğretmen adaylarının öğrenci düşüncesini açığa çıkarma ve derinleştirmeye yönelik soru sorma becerileri. İlköğretim Online, 15*(2), 416–429.*
Yin, R. K. (2018). Case study research and applications: Design and methods *(6th ed.). SAGE Publications.*

MATEMATİK EĞİTİMİNDE YAPAY ZEKA DESTEKLİ PROBLEM ÇÖZME ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALARIN SİSTEMATİK İNCELEMESİ

Hiranur AKSOY
Bursa Uludag University, Institute of Educational Sciences, Department of Mathematics
Bursa, Türkiye
ORCID ID: 0009-0009-8139-9378
Prof. Dr. Gül KALELİ YILMAZ
Bursa Uludag University, Institute of Educational Sciences, Department of Mathematics
Bursa, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-8567-3639
Doç. Dr. Tuğçe KOZAKLI ÜLGER
Bursa Uludag University, Institute of Educational Sciences, Department of Mathematics
Bursa, Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-8413-8290

ÖZET
Bu çalışmada, matematik eğitimi alanında öğrencilerin problem çözme becerileri bağlamında yapay zekanın yerine dair yapılan çalışmalar sistematik bir biçimde incelenerek bu çalışmaların eğilimlerini, yöntemsel yaklaşımlarını ve bulgularını ortaya koymak amaçlanmıştır. Bu kapsamda Scopus veri tabanında kapsamlı bir literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Araştırma sürecinde PRISMA yöntemi temel alınmıştır. Scopus veri tabanı üzerinden belirlenen dahil etme ve hariç tutma kriterleri doğrultusunda seçilen 11 makale analiz edilmiştir. İncelenen çalışmalar; yayın yılı, coğrafi bölge, örneklem grubu, araştırmada seçilen yöntem, veri toplama aracı, incelenen matematik konusu, bulgu ve öneriler bağlamında değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, yapay zeka destekli problem çözme çalışmalarının büyük bir çoğunluğunun 2024-2025 yıllarında yayımlandığını ve konunun son derece güncel bir eğilim gösterdiğini ortaya koymaktadır. İncelenen araştırmalarda seçilen yöntemsel açıdan nicel ve yarı deneysel desenlerin ağırlıkta olduğu, örneklem grubu olarak ise ilkokul kademesinin sıklıkla tercih edildiği saptanmıştır. Çalışmaların çoğunun yapay zekanın eğitime dahil edilmesiyle birlikte öğrencilerin problem çözme başarısı, motivasyonu ve tutumu üzerinde olumlu etkiler sağladığını rapor ettiği görülmüştür. Araştırma sonuçları; yapay zekanın kişiselleştirilmiş geri bildirimler sağlayarak kavramsal anlamayı derinleştirdiğini ancak öğrencileri zihinsel tembelliğe itme riskine karşı eleştirel düşünme ve üstbilişsel farkındalık süreçleriyle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Özellikle yapay zekâ çıktılarının doğruluğunu sorgulatan eleştirel bağlamların ve öğrencilerin üstbilişsel farkındalık düzeylerinin incelendiği nitel araştırmalara literatürde sınırlı olarak yer verildiği görülmüştür. Bununla birlikte, doğru pedagojik teorilerle yapılandırılan yapay zekâ ortamlarının matematiksel problem çözme performansını ve derse yönelik motivasyonu desteklediği, öğrencilerin bilişsel süreçlerini etkin bir şekilde yönetmelerine katkı sağladığı sonucuna ulaşılmıştır.
Anahtar Sözcükler: Yapay zekâ, Problem çözme becerileri, Betimsel analiz.

A SYSTEMATIC REVIEW OF STUDIES ON AI-SUPPORTED PROBLEM SOLVING IN MATHEMATICS EDUCATION

ABSTRACT

In this study, research on the role of artificial intelligence in the context of students' problem-solving skills in mathematics education was systematically reviewed to identify the trends, methodological approaches, and findings of these studies. As part of this effort, a comprehensive literature search was carried out in the Scopus database. The PRISMA method served as the basis for the research process. Eleven articles selected in accordance with the inclusion and exclusion criteria identified through the Scopus database were analyzed. The studies were evaluated in terms of publication year, sample group, research methods, data collection tools, data analysis methods, findings, and recommendations. The findings reveal that the vast majority of AI-supported problem-solving studies were published between 2024 and 2025, indicating that this topic represents a highly current trend. It was found that the studies examined predominantly employed quantitative and quasi-experimental designs, and that elementary school students were frequently selected as the sample group. Most of the studies reported that the integration of artificial intelligence into education had positive effects on students' problem-solving success, motivation, and attitudes. The research findings indicate that while artificial intelligence deepens conceptual understanding by providing personalized feedback, it must be evaluated in conjunction with critical thinking and metacognitive awareness processes to mitigate the risk of encouraging mental laziness among students. In particular, it has been observed that the literature contains only a limited number of qualitative studies examining critical contexts that challenge the accuracy of AI outputs and students' levels of metacognitive awareness. Nevertheless, it has been concluded that AI environments structured according to sound pedagogical theories support mathematical problem-solving performance and motivation toward the subject, and contribute to students' ability to effectively manage their cognitive processes.

Keywords: Artificial intelligence, Problem-solving skills, Descriptive analysis

1. GİRİŞ

Yirmi birinci yüzyılın beraberinde getirdiği teknolojik yenilikler ve dönüşüm süreçleri, diğer tüm alanlarda olduğu gibi eğitim alanında da köklü değişimleri beraberinde getirmiştir. Geleneksel eğitim anlayışlarının aksine günümüz eğitim anlayışı, öğrencilerin yalnızca temel bilgileri ezberlemesini değil; bu bilgileri transfer edebilmesini, üst düzey problem çözme stratejileri geliştirmesini ve eleştirel düşünebilmesini hedeflemektedir. Bu doğrultuda öğretim programlarının ve eğitsel hedeflerin, öğrencilerin değişen çağın ihtiyaçlarına uygun olarak problem çözme ve analitik düşünme yetkinliklerini destekleyecek şekilde güncellenmesi bir zorunluluk haline gelmiştir (Ng vd., 2024).

Matematik eğitimi bağlamında bu üst düzey becerilerin kazandırılması, matematiksel kavramların zihinde anlamlı bir şekilde inşa edilmesi ve soyutlanması süreçleriyle ilişkilidir. Öğrencilerin karşılaştıkları matematiksel problemleri çözebilmeleri, kavramlar arası bağ kurabilmelerine ve zihinsel süreçlerini etkin bir şekilde yönetebilmelerine bağlıdır. Son yıllarda yapılandırmacı yaklaşımların eğitimde ön plana çıkmasıyla birlikte, öğrencilerin bilgi oluşturma süreçlerini etkileyen faktörlerin incelenmesi ve bu süreçlerle ilişkili teknolojik araçların öğretim süreçlerine entegrasyonu alanyazında geniş yer bulmaya başlamıştır (Cheng & Chen, 2022; Sung vd., 2017).

Bu teknolojik araçların en güncel ve etkili olanlarından biri de Yapay Zekâ (YZ) ve Üretken Yapay Zeka teknolojileridir. Eğitim ortamlarına entegre edilen YZ tabanlı sistemler ve akıllı

öğretim asistanları, öğrencilerin kişisel öğrenme hızlarına uyum sağlayarak uyarlanabilir öğrenme fırsatları sunmakta ve kişiselleştirilmiş geri bildirimlerle kavramsal anlamayı derinleştirmektedir (Chau vd., 2025; Nabiyev vd., 2013). Kuramsal bir çerçeveden bakıldığında yapay zeka, öğrencilere doğrudan hazır yanıtlar sunan bir kopya aracı olarak değil; Vygotsky'nin Yakınsal Gelişim Alanı kuramına uygun biçimde, öğrencinin zihinsel gelişimini destekleyen ve ihtiyaç anında ipuçları sunan bir iskele olarak konumlandırılmalıdır (Liu vd., 2025b; Susilawati ve ark., 2025).

Ancak, yapay zekanın sağladığı bu kolaylıkların öğrencileri doğrudan hazır çözümlere yönlendirerek zihinsel tembelliğe itme riski de mevcuttur. Bu durum, yapay zekanın sunduğu çıktıları sorgulayan ve doğrulayan yüksek üstbilişsel farkındalığa sahip bireylerin yetiştirilmesinin önemini artırmaktadır (Filiz & Gür, 2025). Mevcut alanyazın incelendiğinde, yapay zeka entegrasyonunun başarı puanları üzerindeki etkilerini ölçen nicel çalışmalar yoğunlukta olsa da (Liu vd., 2025a; Song ve ark., 2025) öğrencilerin zihinsel süreçlerine ve üstbilişsel farkındalıklarına odaklanan derinlemesine nitel araştırmaların oldukça sınırlı olduğu görülmektedir (Filiz & Gür, 2025). Ayrıca, güncel çalışmaların büyük bir kısmının belirli bir coğrafi bağlamda yığılması, bulguların evrensel olarak genellenebilmesini zorlaştırmaktadır (Fang ve ark., 2025). Bu doğrultuda, alandaki metodolojik ve tematik eğilimleri bütüncül bir bakış açısıyla ortaya koyacak, mevcut boşlukları ve gelecek yönelimlerini belirleyecek kapsamlı bir sistematik derlemeye gereksinim duyulmaktadır.

1.1. Araştırmanın Amacı ve Önemi

Bu araştırmanın temel amacı; matematik eğitimi alanında öğrencilerin problem çözme becerileri bağlamında yapay zekanın yerine, etkilerine ve öğretim sürecine entegrasyonuna dair yayımlanan çalışmaları sistematik bir literatür taraması yöntemiyle incelemektir. Bu genel amaç kapsamında araştırmada şu alt sorulara yanıt aranmıştır:

1. Matematik eğitimi alanında öğrencilerin problem çözme becerilerine dair yapay zeka destekli yapılan çalışmaların yıllara göre dağılımı nasıldır?
2. Matematik eğitimi alanında yapay zeka destekli problem çözme becerilerine ilişkin yapılan çalışmaların örneklem gruplarına ve büyüklüğüne göre dağılımları nasıldır?
3. Matematik eğitimi alanında yapay zeka destekli problem çözme becerilerine ilişkin yapılan çalışmaların araştırma yöntemlerine göre dağılımları nasıldır?
4. Matematik eğitimi alanında yapay zeka destekli problem çözme becerilerine ilişkin yapılan çalışmaların veri toplama araçlarına göre dağılımları nasıldır?
5. Matematik eğitimi alanında yapay zeka destekli problem çözme becerilerine ilişkin yapılan çalışmalardan elde edilen bulgu ve sonuçlar nasıldır?

Bu çalışma, hızla gelişen yapay zeka teknolojilerinin matematik eğitimindeki yansımalarını metodolojik, bağlamsal ve tematik açılardan haritalandırması yönüyle bir öneme sahiptir. Araştırmanın bulguları, gelecekte tasarlanacak yapay zeka destekli matematik öğretim ortamları için program geliştiricilere ve eğitimcilere pedagojik öneriler sunabileceği, aynı zamanda literatürdeki boşlukları net bir şekilde ortaya koyarak gelecekteki akademik çalışmalara rehberlik edebileceği düşünülmektedir.

2.YÖNTEM

2.1 Araştırma Modeli

Bu çalışmada, matematik eğitimi alanında öğrencilerin problem çözme becerilerini desteklemek amacıyla yapay zekâ entegrasyonunu ele alan bilimsel yayınları bütüncül bir şekilde incelemek amacıyla sistematik literatür taraması yöntemi benimsenmiştir. Sistematik literatür taramaları; belirli bir araştırma sorusuna yönelik olarak önceden tanımlanmış açık, şeffaf ve tekrarlanabilir adımları izleyerek ilgili tüm birincil çalışmaları belirlemeyi, seçmeyi, eleştirel olarak değerlendirmeyi ve sentezlemeyi amaçlayan sistematik bir süreçtir. Araştırma

kapsamında yürütülen literatür taraması, tarama ve raporlama kalitesini en üst düzeye çıkarmak amacıyla uluslararası düzeyde kabul gören PRISMA kılavuzu temel alınarak gerçekleştirilmiştir.

2.2 Veri Toplama Süreci

Araştırmanın veri toplama sürecinde, uluslararası düzeyde etki değeri yüksek ve hakemli dergileri geniş bir yelpazede dizinleyen Scopus veri tabanı kullanılmıştır. Veri tabanında gerçekleştirilen tarama adımlarında, araştırmanın temel odak noktası olan "Matematik eğitiminde öğrencilerin problem çözme becerilerini desteklemek amacıyla yapay zekâ nasıl entegre edilmektedir?" sorusundan yola çıkılarak kapsamlı bir anahtar kelime kümesi yapılandırılmıştır. Birbiri yerine kullanılabilecek eş anlamlı terimler "OR" mantıksal bağlacı ile bir araya getirilirken, araştırmanın kesişim kümelerini oluşturan ana temalar ise "AND" bağlacı ile birbirine bağlanmıştır. Bu doğrultuda Scopus veri tabanında işletilen nihai arama dizgesi şu şekildedir:

- (TITLE-ABS-KEY (artificial intelligence) OR TITLE-ABS-KEY (AI-based) OR TITLE-ABS-KEY (AI) OR TITLE-ABS-KEY (mathematics education) AND TITLE-ABS-KEY (problem-solving skills))

Arama dizgesi sonucunda ilk aşamada toplam 136 çalışmaya ulaşılmıştır. Ardından çalışmanın kapsamını daraltmak amacıyla konu alanı (subject area) “Social Sciences” ve “Arts and Humanities” olarak sınırlandırılmış ve çalışma sayısı 81’e düşürülmüştür. Son olarak, sadece hakemli dergilerdeki makalelerin incelenmesi hedeflendiğinden belge türü (document type) “article” olarak filtrelenmiş ve toplam 40 makaleye erişilmiştir. Arama sürecinde herhangi bir yıl sınırlaması getirilmemiştir; bu kararın gerekçesi, eğitimde yapay zekâ uygulamalarının son derece dinamik, güncel bir yapıya sahip olmasıdır.

2.3 Seçim Süreci ve Filtreleme Basamakları

PRISMA akış şemasına uygun olarak gerçekleştirilen seçim ve eleme süreçleri aşamalı olarak yürütülmüştür. İlk aşama olan tanımlama aşamasında, yukarıda belirtilen arama dizgesinin ham çıktısı olarak toplam 136 çalışmaya ulaşılmıştır. Ardından, çalışmanın kapsamını daraltmak ve doğrudan eğitim bilimleri literatürüne odaklanabilmek amacıyla Scopus gelişmiş filtreleme özellikleri kullanılarak konu alanı "Social Sciences" ve "Arts and Humanities" şeklinde sınırlandırılmış, bu adım neticesinde çalışma sayısı 81 düşürülmüştür. Araştırmanın ham veri kaynağı olarak sadece hakemli dergilerde yayımlanmış makalelerin incelenmesi hedeflendiğinden belge türü "article" olarak filtrelenmiş ve nihai olarak 40 makale tarama aşamasına aktarılmıştır.

Tarama aşamasında, elde edilen 40 makalenin başlık, özet ve anahtar kelimeleri, araştırmacı tarafından önceden belirlenmiş olan dahil etme ve hariç tutma kriterlerine (Bkz. Tablo 1) göre okunmuştur. Bu süreçte; mühendislik veya fizik gibi farklı disiplinlerdeki yapay zekâ araçlarını odağına alan, kitap veya bildiri niteliği taşıyan ya da özetinde yapay zekaya yüzeysel olarak değinmesine rağmen problem çözme süreçlerini ana odak noktası yapmayan 24 makale elenerek süreç dışı bırakılmıştır. Böylelikle derinlemesine incelenmek üzere 16 makale uygunluk aşamasına dahil edilmiştir.

Uygunluk aşamasında, geriye kalan 16 makalenin tam metinleri detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Tam metin incelemeleri sonucunda 5 makale daha elenmiştir. Bu makalelerin elenme gerekçeleri; çalışmanın deneysel olmayıp sadece teorik/tartışma düzeyinde kalması (Silva, 2025), problem çözme becerisinden ziyade akademik başarı, katılım veya öz-yeterlik gibi duyuşsal değişkenleri baskın tutması (Canonigo, 2024; Torres-Peña vd., 2024), yapay zekanın pedagojik katkısından çok teknik sınırlılıklarına odaklanması (Remoto, 2024) ve işlemsel düşünmeye yoğunlaşarak problem çözmeyi arka planda bırakması ya da vaka çalışması niteliğinde olup yöntemsel sınırlılık barındırmasıdır (Yunianto vd., 2024). Tüm bu aşamaların

ardından, sistematik derlemeye dahil edilerek analiz edilecek nihai çalışma sayısı 11 olarak belirlenmiştir.

2.4 Dahil Etme ve Hariç Tutma Kriterleri

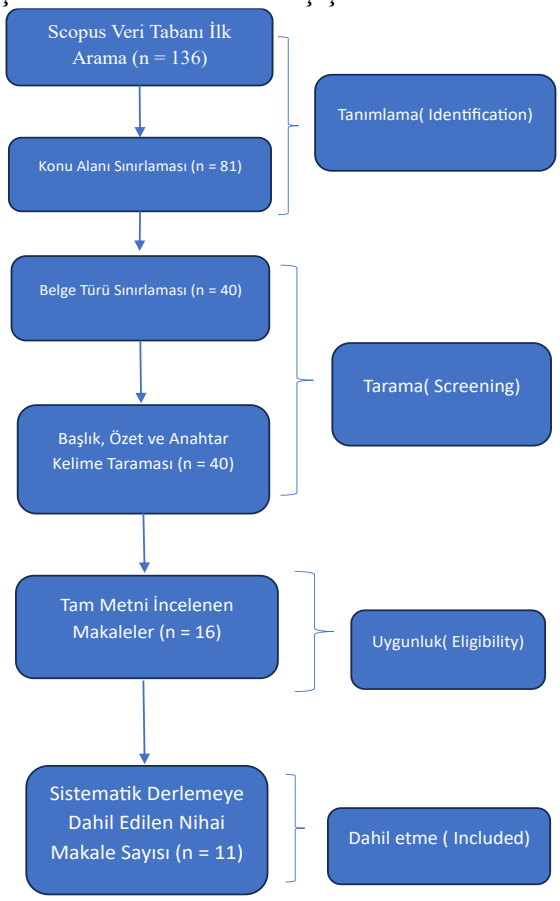
Çalışmaların seçimi esnasında yanlılığı önlemek ve sistematik bir standart oluşturmak adına uygulanan kriterler Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1: *Araştırmanın Dahil Etme ve Hariç Tutma Kriterleri*

Dahil Etme Kriterleri (D)	Hariç Tutma Kriterleri (H)
D1: Matematik eğitimini temel alan tüm eğitim seviyelerindeki (K-12 ve yükseköğretim) çalışmalar	**H1:** Matematik eğitimi alanı dışındaki disiplinlerde (mühendislik, tıp vb.) yürütülen çalışmalar
D2: Yapay zekâ entegrasyonu ile matematiksel problem çözme becerilerini doğrudan odak noktası alan araştırmalar	**H2:** Yapay zekâ kullanan ancak ana odağı matematik dışındaki konular (fizik, kimya vb.) olan çalışmalar
D3: Hakemli bilimsel dergilerde yayımlanmış makaleler	**H3:** Kitaplar, kitap bölümleri, konferans bildirileri ve henüz hakem sürecinde olan yayımlanmamış çalışmalar
D4: Scopus veri tabanında dizinlenen, problem çözme ve yapay zekayı bir arada inceleyen araştırmalar	**H4:** Yapay zekâ ve problem çözme kavramlarına değinen ancak bunları birincil odak/değişken olarak ele almayan çalışmalar

Araştırma kapsamında Scopus veri tabanı üzerinden 'yapay zekâ', 'problem çözme' ve 'matematik eğitimi' anahtar kelimeleriyle literatür taraması gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın kapsamını belirlemek amacıyla Tablo 1'de sunulan dahil etme ve hariç tutma kriterleri esas alınmıştır. Scopus veri tabanında yapılan ilk arama sonucunda 136 çalışmaya ulaşılmıştır. Belirlenen dahil etme ve hariç tutma kriterleri doğrultusunda gerçekleştirilen alan, yayın türü, başlık-özet taraması ve tam metin incelemeleri sonucunda nihai olarak 11 makale sistematik derlemeye dâhil edilmiştir. Veri arama, tarama, uygunluk değerlendirmesi ve eleme süreçlerine ilişkin detaylı akış Şekil 1'de sunulmuştur.

Şekil 1: Araştırmanın PRISMA Akış Şeması



Not: Page vd. (2021) tarafından geliştirilen PRISMA 2020 bildirimi temel alınarak araştırmacılar tarafından hazırlanmıştır. n = İlgili adımdaki çalışma sayısı.

2.5 Veri Analizi

Nihai aşamada taramaya dahil edilen 11 makalenin (Chau vd., 2025; Cheng & Chen, 2022; Fang vd., 2025; Filiz & Gür, 2025; Liu vd., 2025a; Liu vd., 2025b; Nabiyev vd., 2013; Ng vd., 2024; Song vd., 2025; Sung vd., 2017; Susilawati vd., 2025) yapılandırılmış analizi için bir veri çekme formu oluşturulmuştur. İncelenen her bir makale; Künye Bilgileri (Yayım yılı), Bağlamsal Özellikler (Ülke, eğitim kademesi), Metodolojik Yapı (Araştırma yöntemi, araştırma deseni, örneklem büyüklüğü, veri toplama araçları), Uygulama Alanı (İncelenen matematik konusu) ve Araştırma Bulguları (Odaklanılan değişkenler, etki yönü/sonuçlar) olmak üzere 10 farklı değişken kategorisine göre kodlanmıştır. Elde edilen veriler, alt araştırma sorularının sırasına uygun olarak frekans ve yüzde dağılımları üzerinden betimsel analize tabi tutulmuş ve içerik analizi teknikleri kullanılarak belirli tematik eksenler altında bir araya getirilmiştir.

3. BULGULAR

Sistematik literatür taraması kapsamında dahil etme kriterlerini karşılayan toplam 11 makale, araştırmanın alt soruları doğrultusunda çözümlenmiş ve elde edilen bulgular başlıklar halinde sunulmuştur.

3.1 Çalışmaların Yıllara ve Coğrafi Bölgelere Göre Dağılımı

Araştırma kapsamında incelenen çalışmaların kronolojik dağılımı analize tabi tutulduğunda, yapay zekâ destekli matematiksel problem çözme literatürünün son derece güncel bir eğilim sergilediği saptanmıştır. Dahil edilen 11 araştırmanın %63'ü yakın tarihte, yani 2025 yılında

yayımlanmıştır (Chau vd., 2025; Fang vd., 2025; Filiz & Gür, 2025; Liu vd., 2025a; Liu vd., 2025b; Song vd., 2025; Susilawati vd., 2025). Geriye kalan çalışmaların ise 2024 (n=1; Ng vd., 2024), 2022 (n=1; Cheng & Chen, 2022), 2017 (n=1; Sung vd., 2017) ve 2013 (n=1; Nabiyev vd., 2013) yıllarına ait olduğu görülmektedir. Bu durum, alanyazının özellikle Üretken Yapay Zekâ teknolojileri ile birlikte ivme kazandığını göstermektedir.

Coğrafi dağılım açısından bakıldığında, araştırmaların çoğunluğunun Doğu Asya ve Güneydoğu Asya ülkelerinde yoğunlaştığı belirlenmiştir (Chau vd., 2025; Cheng & Chen, 2022; Fang vd., 2025; Liu vd., 2025a; Liu vd., 2025b; Ng vd., 2024; Song vd., 2025; Susilawati vd., 2025). Türkiye bağlamında ise problem çözme süreçlerinde yapay zekâ entegrasyonunu ele alan ve kriterleri karşılayan toplam 2 çalışmaya rastlanırken (Filiz & Gür, 2025; Nabiyev vd., 2013), Amerika Birleşik Devletleri (ABD) merkezli yürütülen çalışma sayısının ise 1 olduğu saptanmıştır (Sung vd., 2017).

Tablo 2: İncelenen Çalışmaların Yayın Yılı ve Coğrafi Bölgelere Göre Dağılımı

Değişken	**Kategoriler**	**Çalışmalar**
Yayın Yılı	2025	Chau vd. (2025); Fang vd. (2025); Filiz & Gür (2025); Liu vd. (2025a); Liu vd. (2025b); Susilawati vd. (2025); Song vd. (2025)
	2024	Ng vd. (2024)
	2022	Cheng & Chen (2022)
	2017	Sung vd. (2017)
	2013	Nabiyev vd. (2013)
Coğrafi Bölge	Çin / Hong Kong / Tayvan	Fang vd. (2025); Liu vd. (2025a); Liu vd. (2025b); Song vd. (2025); Ng vd. (2024); Cheng & Chen (2022)
	Endonezya	Susilawati vd. (2025)
	Vietnam	Chau vd. (2025)
	Türkiye	Filiz & Gür (2025); Nabiyev vd. (2013)
	ABD	Sung vd. (2017)

3.2 Örneklem Grupları ve Büyüklüklerine İlişkin Bulgular

İncelenen araştırmalarda yapay zekâ uygulamalarının en sık ilkokul kademesinde işe koşulduğu saptanmıştır (Liu vd., 2025a; Liu vd., 2025b; Song vd., 2025; Sung vd., 2017; Susilawati vd., 2025). Araştırmacıların temel matematiksel becerilerin ve problem çözme stratejilerinin erken yaşlarda desteklenmesine pedagojik bir öncelik verdiği görülmektedir. İlkokul kademesini sırasıyla yükseköğretim düzeyindeki öğrenciler (Cheng ve Chen, 2022; Fang vd., 2025; Filiz & Gür, 2025; Ng vd., 2024) ile lise kademesi (Chau vd., 2025; Nabiyev vd., 2013) takip etmektedir. Örneklem büyüklükleri incelendiğinde ise, araştırmaların mikro düzeydeki vaka analizlerinden ziyade, deneysel grupların karşılaştırılmasına izin veren orta ve büyük ölçekli katılımcı gruplarıyla yürütüldüğü belirlenmiştir (Liu vd., 2025a; Liu vd., 2025b).

Tablo 3: Çalışmaların Örneklem Kademesi ve Büyüklüğüne Göre Dağılımı

Değişken	**Kategoriler**	**Çalışmalar**
Örneklem Kademesi	İlkokul	Liu vd. (2025a); Liu vd. (2025b); Song vd. (2025); Susilawati vd. (2025); Sung vd. (2017)
	Lise/Ortaöğretim	Chau vd. (2025); Nabiyev vd. (2013)
	Yükseköğretim	Fang vd. (2025); Filiz & Gür (2025); Ng vd. (2024); Cheng & Chen (2022)
	Küçük Ölçekli	Cheng & Chen (2022); Filiz & Gür (2025)

Örneklem Büyüklüğü	Orta Ölçekli	Chau vd. (2025); Liu vd. (2025a); Liu vd. (2025b); Ng vd. (2024); Sung vd. (2017); Nabiyev vd. (2013)
	Büyük Ölçekli	Fang vd. (2025); Song vd. (2025); Susilawati vd. (2025)

3.3 Metodolojik Yapı ve Araştırma Desenleri

Alanyazındaki metodolojik eğilimler incelendiğinde, nicel ve nitel verilerin bir arada değerlendirildiği karma araştırma yöntemlerinin baskın olduğu görülmektedir (Cheng ve Chen, 2022; Fang vd., 2025; Liu vd., 2025a; Liu vd., 2025b; Ng vd., 2024; Song vd., 2025; Susilawati vd., 2025). Araştırmacıların çoğunlukla yapay zekâ uygulamalarının nicel başarı testleriyle ölçülen etkilerini, öğrenci görüşleri ve kayıt analizleri gibi nitel verilerle desteklemeyi tercih ettikleri anlaşılmaktadır. Karma araştırmaların yanı sıra, doğrudan müdahale süreçlerinin etkisini ölçmeyi hedefleyen nicel ve yarı deneysel desenlerin de sıklıkla kullanıldığı belirlenmiştir (Chau vd., 2025; Nabiyev vd., 2013; Sung vd., 2017). Öğrencilerin zihinsel süreçlerini ve üstbilişsel farkındalıklarını doğrudan inceleyen derinlemesine nitel durum çalışmaları ise literatürde oldukça sınırlı bir paya sahiptir (Filiz & Gür, 2025).

Tablo 4: Araştırmaların Metodojik Yapısı ve Desen Yönelimleri

Araştırma Yöntemi	**Alt Desenler**	**Çalışmalar**
Nicel Yöntem	Yarı Deneysel/ Deneysel	Chau vd. (2025); Sung vd. (2017); Nabiyev vd. (2013)
Karma Yöntem	Eş Zamanlı/Açımlayıcı Desen	Fang vd. (2025); Liu vd. (2025a); Liu vd. (2025b); Song vd. (2025); Susilawati vd. (2025); Ng vd. (2024); Cheng & Chen (2022)
Nitel Yöntem	Durum Çalışması (Case Study)	Filiz & Gür (2025)

3.4 Veri Toplama Araçları ve İncelenen Matematik Konuları

Çalışmalarda veri toplama aracı olarak en sık matematik başarı testleri, problem çözme performans testleri ve duyuşsal ölçekler/anketler kullanılmıştır (Chau vd., 2025; Liu vd., 2025a; Liu vd., 2025b; Nabiyev vd., 2013; Susilawati vd., 2025). Bunların yanı sıra, dijital sistemlerin arka planında tutulan oyun logları, ChatGPT sohbet kayıtları ve öğrenci günlükleri gibi süreç odaklı veri kaynaklarından da yararlanılmıştır (Cheng & Chen, 2022; Filiz & Gür, 2025; Ng vd., 2024).

Yapılan taramada, yapay zekanın sıklıkla rutin olmayan genel matematiksel problemler (Filiz & Gür, 2025; Nabiyev vd., 2013; Sung vd., 2017; Susilawati vd., 2025) ile sözel problemlerin (Chau vd., 2025; Liu vd., 2025a; Liu vd., 2025b) çözümünde bir öğretimsel araç olarak konumlandırıldığı saptanmıştır. Bu konu başlıklarını STEAM ve disiplinler arası karmaşık problemler (Fang vd., 2025; Ng vd., 2024; Song vd., 2025) ile geometri ve uzamsal yetenek gerektiren problem çözme görevleri (Cheng ve Chen, 2022) takip etmektedir.

Tablo 5: Veri Toplama Araçları ve İncelenen Matematik Konularının Dağılımı

Değişken	**Belirlenen Temalar / Kategoriler**	**Çalışmalar**
Veri Toplama Aracı	Başarı ve Problem Çözme Testleri	Chau vd. (2025); Fang vd. (2025); Liu vd. (2025a); Liu vd. (2025b); Song vd. (2025); Susilawati vd. (2025)
	Likert Tipi Ölçekler ve Anketler	Fang vd. (2025); Liu vd. (2025a); Liu vd. (2025b); Song vd. (2025); Susilawati vd. (2025)
	Görüşme (Mülakat) ve Sohbet Kayıtları	Filiz & Gür (2025); Liu vd. (2025a); Song vd. (2025); Ng vd. (2024)

Matematik Konusu	Sözel Problemler (Word Problems)	Chau vd. (2025); Liu vd. (2025a); Liu vd. (2025b)
	STEAM / Disiplinler Arası Problemler	Fang vd. (2025); Song vd. (2025); Ng vd. (2024)
	Rutin Olmayan / Genel Problemler	Filiz & Gür (2025); Susilawati vd. (2025); Nabiyev vd. (2013); Sung vd. (2017)
	Geometri ve Uzamsal Problemler	Cheng & Chen (2022)

3.5 Yapay Zekâ Entegrasyonunun Sonuçları ve Etki Yönleri

Analiz edilen 11 çalışmanın tamamına yakını, yapay zekâ destekli araçların matematiksel problem çözme süreçleri üzerinde olumlu yönlü bir etkiye sahip olduğunu rapor etmiştir. Elde edilen bu olumlu çıktılar üç temel tema altında kategorize edilmiştir:

Tablo 6: Yapay Zekâ Entegrasyonunun Sonuçları ve Etki Yönlerine İlişkin Ana/Alt Temalar

Ana Temalar	Alt Temalar / Etki Alanları	Rapor Edilen Ortak Bulgular ve Çıktılar	Çalışmalar
Bilişsel Beceriler ve Başarı	• Kavramsal Anlama • Hata Analizi ve Muhakeme	Yapay zekâ destekli sistemlerin öğrencilerin sözel problem çözme performansını ve genel matematik başarısını anlamlı derecede artırması; kişiselleştirilmiş geri bildirimlerin kavramsal yanılgıları azaltması.	Chau vd. (2025); Fang vd. (2025); Liu vd. (2025a); Liu vd. (2025b); Song vd. (2025)
Duyuşsal ve Sosyal Boyut	• Öğrenme Motivasyonu • Parasosyal Etkileşim	Oyunlaştırma ve yapay zekâ entegrasyonunun problem çözme kaygısını düşürmesi; yapay zekâ ajanlarıyla kurulan insansı diyaloğun (parasosyal bağ) işbirlikli öğrenme eğilimini ve derse katılımı tetiklemesi.	Fang vd. (2025); Liu vd. (2025a); Song vd. (2025); Susilawati vd. (2025)
Öğretimsel Tasarım ve Riskler	• Pedagojik İskele (Scaffolding) • Üstbiliş ve Zihinsel Tembellik	Yapay zekanın kademeli ipuçları sunan bir iskele olarak kurgulanmasının önemi. Yüksek üstbilişe sahip öğrencilerin yapay zekayı eleştirel süzgeçten geçirmesi; düşük farkındalıklı öğrencilerin ise hazır cevaba yönelerek zihinsel tembellik riski yaşaması.	Chau vd. (2025); Filiz & Gür (2025); Liu vd. (2025b)

3.6 Bilişsel Beceriler ve Akademik Başarıya Etkisi

Deneysel çalışmalar, yapay zekâ tabanlı akıllı sistemlerin öğrencilerin problem çözme performansını ve genel matematik başarısını istatistiksel olarak anlamlı derecede artırdığını kanıtlamıştır. Öğrencilerin hatalarını analiz ederek anlık ve kişiselleştirilmiş geri bildirim sunan sistemlerin, geleneksel sınıf içi anlatımlara kıyasla kavramsal anlamayı derinleştirdiği saptanmıştır (Liu vd., 2025a; Liu vd., 2025b). Benzer şekilde, yapay zekâ tabanlı öğretim asistanlarının ve dijital oyun ortamlarının, öğrencilerin uzamsal problem çözme stratejilerini daha verimli ve sistematik hale getirdiği (Cheng & Chen, 2022; Nabiyev vd., 2013); somutlaştırılmış etkinliklerin ise matematiksel temsil yeteneklerini güçlendirdiği belirlenmiştir (Sung vd., 2017).

Tablo 7: Bilişsel Beceriler ve Akademik Başarıya İlişkin Bulgular

Alt Temalar/Kodlar	Rapor Edilen Ortak Çıktılar ve Eğitsel Etkiler	İlgili Çalışmalar
Sözel Problem Çözme Performansı	• Metinsel ifadeleri matematiksel temsillere/denklemlere dönüştürme becerisinin artması. • Dilsel anlama ve matematiksel muhakeme süreçlerinin senkronize desteklenmesi.	Chau vd. (2025); Liu vd. (2025a); Liu vd. (2025b)
Genel Başarı ve Kavramsal Anlama	• Ön test-son test puanlarında istatistiksel olarak anlamlı artış sağlanması. • Kavramsal yanılgıların en aza indirilmesi ve kalıcı öğrenmenin desteklenmesi.	Fang vd. (2025); Liu vd. (2025a); Song vd. (2025)
Hata Analizi ve Dinamik Kılavuzluk	• Öğrenci hatalarına dayalı kişiselleştirilmiş, gerçek zamanlı ve adım adım geri bildirim sunulması.	Chau vd. (2025); Liu vd. (2025b)
Analitik Düşünme ve Ayrıştırma	• Disiplinler arası/STEAM bağlamında karmaşık problemleri alt bileşenlerine ayırma performansının güçlenmesi.	Fang vd. (2025)

3.7 Duyuşsal Özellikler, Motivasyon ve Sosyal Etkileşim

Yapay zekâ entegrasyonunun, öğrencilerin matematik dersine yönelik kaygılarını azalttığı ve öğrenme motivasyonlarını yükselttiği saptanmıştır. Özellikle Gerçekçi Matematik Eğitimi (RME) ve oyunlaştırma ile harmanlanan yapay zekâ tasarımlarının, öğrencilerin problem çözmeye karşı olan isteklerini tetiklediği görülmüştür (Susilawati vd., 2025). Ayrıca, yapay zekâ tabanlı pedagojik ajanların insansı ve sohbet odaklı yapısı sayesinde öğrencilerle bir tür "parasosyal etkileşim" kurduğu; bu durumun da öğrencilerin akranlarıyla işbirlikli problem çözme eğilimlerini ve derse olan bağlılıklarını artırdığı rapor edilmiştir (Fang vd., 2025; Liu vd., 2025a).

Tablo 8: Duyuşsal Özellikler, Motivasyon ve Sosyal Etkileşime İlişkin Bulgular

Alt Temalar/Kodlar	Rapor Edilen Ortak Çıktılar ve Eğitsel Etkiler	İlgili Çalışmalar
Parasosyal Etkileşim ve Sosyal Bağ	• Yapay zekâ ajanlarının insansı ve diyalog odaklı yapısı sayesinde öğrencilerle güçlü bir sosyal bağ kurması. • Dijital platformdaki etkileşim ve katılım sürelerinin uzaması.	Fang vd. (2025); Liu vd. (2025a); Song vd. (2025)
İçsel Motivasyon ve Derse Bağlılık	• Oyunlaştırma ve esnek tasarımlar sayesinde rutin olmayan problemleri çözmeye yönelik istekliliğin artması.	Liu vd. (2025a); Susilawati vd. (2025)
Matematik Kaygısının Azalması	• Yapay zekânın yargılayıcı olmayan yapısı sayesinde öğrencilerin hata yapma korkusunu yenmesi ve öz güven kazanması.	Susilawati vd. (2025)
İşbirlikli Problem Çözme Eğilimi	• Akran etkileşiminin ve grup içi ortak problem çözme bağlılığının tetiklenmesi.	Fang vd. (2025)

3.8 Öğretim Tasarımı, Pedagojik Yaklaşımlar ve Üstbilişsel Süreçler

Bulgular, yapay zekanın sadece bir hazır cevap motoru olarak değil, doğru pedagojik tasarımlarla bütünleştirildiğinde öğrencilerin üstbilişsel farkındalıklarını harekete geçiren bir süreç aracı olduğunu ortaya koymuştur. Herkese tek tip öğretim yerine öğrencinin hızına göre şekillenen uyarlanabilir öğrenme modelleri başarıyla test edilmiştir (Chau vd., 2025).

Ancak, öğrencilerin üstbilişsel farkındalık seviyeleri ile yapay zekâ kullanımı arasında kritik bir bağ olduğu keşfedilmiştir. Yüksek üstbilişsel farkındalığa sahip öğrenciler yapay zekanın sunduğu adımları eleştirel bir süzgeçten geçirip doğruluğunu sorgularken, bu becerisi zayıf olan öğrencilerin yapay zekayı doğrudan kullanması ve zihinsel tembelliğe kapılma riski barındırdığı belirlenmiştir (Filiz & Gür, 2025). Bu durum, yapay zekanın doğrudan sonuç veren bir sistem yerine, öğrencilere adım adım ipuçları sunan pedagojik bir iskele olarak tasarlanması gerekliliğini doğrulamaktadır.

Tablo 9: ÖğretimTasarımı, Pedagojik Yaklaşımlar ve Üstbilişsel Süreçlere İlişkin Bulgular ve Riskler

Alt Temalar / Kodlar	Eğitsel Çıktılar ve Tasarım Boyutları	Karşılaşılan Riskler, Eleştiriler ve Kısıtlar	İlgili Çalışmalar
Pedagojik İskele (Scaffolding)	• Vygotsky'nin Yakınsal Gelişim Alanı kuramına uygun, doğrudan cevap yerine kademeli ipuçları sunan uyarlanabilir tasarımlar.	• Sistemin doğrudan hazır çözüm sunan bir "yanıt motoru" olarak kurgulanması riski.	Chau vd. (2025); Liu vd. (2025b)
Üstbilişsel Farkındalık ve Eleştirel Süzgeç	• Yüksek üstbilişe sahip öğrencilerin yapay zekâ çıktılarını sorgulayarak sistemi bir öğrenme ortağı yapması.	• Düşük üstbilişli öğrencilerin çıktıları doğrudan kopyalaması ve **"zihinsel tembellik"** riskinin doğması.	Filiz & Gür (2025)
Sistem Altyapısı ve Teknik Sınırlılıklar	• Öğretmen ve öğrencilerin kişiselleştirilmiş süreç deneyimleri ve beklentileri.	• Uygulama esnasında yaşanan teknik aksaklıklar ve bağlantı sorunları.	Song vd. (2025)
Etik ve Veri Gizliliği Endişeleri	-	• Yapay zekâ sistemlerindeki veri güvenliği ve öğrenci gizliliğine yönelik öğretmen kaygıları.	Song vd. (2025)
Sistemik Pedagojik Entegrasyon Eksikliği	• Gerçekçi Matematik Eğitimi (RME), yapay zekâ ve oyunlaştırmanın teorik sentezi.	• Öğretmenlerin dijital okuryazarlık yetersizliği ve bütünleşik pedagojik modellerin azlığı.	Susilawati vd. (2025)

4. TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

4.1 Tartışma

Bu sistematik literatür taraması çalışmasında, matematik eğitimi alanında öğrencilerin problem çözme becerilerini desteklemek amacıyla yapay zekâ entegrasyonunun ele alındığı güncel araştırmalar bütüncül bir bakış açısıyla incelenmiş ve sentezlenmiştir.

Elde edilen bulgular, alanyazında hem yöntemsel hem de tematik açıdan bazı belirgin eğilimlerin ve kritik boşlukların varlığını göstermektedir.

Yöntemsel bakımdan alanyazın incelendiğinde, çalışmaların büyük çoğunluğunun nicel veya karma yöntemlerle yürütüldüğü ve özellikle öğrencilerin son test başarı puanlarındaki artışa odaklandığı saptanmıştır (Liu vd., 2025a; Song vd., 2025). Ancak, öğrencilerin yapay zekâ araçlarıyla etkileşime geçtikleri esnadaki derinlemesine zihinsel süreçlerine, bilişsel stratejilerine ve özellikle yapay zekâ çıktısını değerlendirirken sergiledikleri üstbilişsel farkındalıklara odaklanan nitel çalışmaların sayısı literatürde sınırlıdır (Filiz & Gür, 2025). Mevcut deneysel çalışmaların çoğunluğunun Doğu Asya bağlamında yığılması da dikkat çeker (Chau vd., 2025; Fang vd., 2025; Liu vd., 2025a). Batı ülkeleri veya farklı sosyo-kültürel çevrelerde yürütülen güncel deneysel araştırmaların azlığı, yapay zekanın matematiksel problem çözmedeki rolüne ilişkin bulguların evrensel olarak genellenebilmesini zorlaştırmaktadır.

Alanyazında yapılan son çalışmalar ChatGPT ve benzeri üretken yapay zekâ modelleri üzerinde yoğunlaşmıştır (Filiz & Gür, 2025; Liu vd., 2025a). Ancak, daha eski ancak pedagojik olarak güçlü yapılandırılmış akıllı öğretim sistemlerinin, günümüzün modern dil modelleriyle nasıl entegre edileceği konusunda hibrit çalışmalar eksiktir. Yapay zekanın eğitimdeki kuramsal konumu ele alındığında, bu teknolojinin öğrencilere doğrudan çözüm veya yanıtı sunan bir kopya aracı olarak işlev görmemesi gerektiği söylenebilir. Aksine yapay zekâ, Vygotsky'nin Yakınsal Gelişim Alanı kuramındaki gibi öğrencinin desteğe ihtiyacı olduğunda ona rehberlik eden, ipuçları sunan ve zihinsel gelişimini aşama aşama destekleyen bir araç olarak konumlandırılmalıdır (Liu vd., 2025b; Susilawati vd., 2025). Ayrıca, Fang vd. (2025)

tarafından vurgulanan Parasosyal Etkileşim teorisi, yapay zekânın insansı ve diyalog temelli yapısının öğrencilerde sosyal bağ hissi uyandırdığını ve bu durumun öğrenme motivasyonu ile problem çözme istekliliğini tetiklediğini doğrulamaktadır. Dolayısıyla, öğretim tasarımlarında yapay zekâ, bir yazılım aracı olarak değil, öğrenciye eşlik eden bir öğrenme arkadaşı olarak kurgulanmalıdır (Fang vd., 2025; Liu vd., 2025a). Bu kurgu esnasında, yapay zekânın öğrencileri zihinsel tembelliğe itme riskine karşı koruma sağlamak adına, sadece yapay zekanın çözdüğü problemleri izleme görevi verilmemelidir.

4.2 Sonuç

Bu sistematik derleme çalışması sonucunda, yapay zekâ teknolojilerinin matematik eğitiminde problem çözme becerilerinin geliştirilmesinde son derece güçlü ve dönüştürücü bir potansiyele sahip olduğu görülmüştür. İncelenen araştırmalar, yapay zekâ destekli kişiselleştirilmiş geri bildirim sistemlerinin, oyunlaştırılmış platformların ve akıllı asistanların öğrencilerin kavramsal anlamalarını derinleştirdiğini, problem çözme becerilerini olumlu yönde etkilediğini ve matematik dersine yönelik olumlu tutumlar geliştirmelerini sağladığını göstermiştir (Chau vd., 2025; Cheng & Chen, 2022; Susilawati vd., 2025). Yapay zekâ, tek tip öğretim boyutunu aşarak öğrencilerin kendi öğrenme hızlarında ilerlemelerine imkan tanıyan uyarlanabilir bir öğrenme sistemi sunmaktadır (Chau vd., 2025). Ancak bu olumlu katkıların kalıcı ve güvenli olabilmesi, öğrencilerin yapay zekayı sorgulamadan kabul etmeyen yüksek bir üstbilişsel farkındalık seviyesine sahip olmalarına ve öğretim tasarımlarının doğru pedagojik teorilerle (Vygotsky, Parasosyal Etkileşim vb.) yapılandırılmasına bağlıdır (Fang vd., 2025; Filiz & Gür, 2025).

4.3 Öneriler

Araştırmadan elde edilen sonuçlar ışığında, gelecekteki akademik çalışmalara ve uygulamalara yönelik şu öneriler geliştirilmiştir:

1. Boylamsal Çalışmalar Yapılmalıdır: Literatürde mevcut olan deneysel çalışmaların büyük bir kısmı kısa vadeli uygulama süreçlerini kapsamaktadır (Liu vd., 2025a; Song vd., 2025). Yapay zekâ kullanımının öğrencilerin matematiksel problem çözme stratejileri ve başarıları üzerindeki uzun vadeli etkilerini ve kalıcılığını ölçebilmek adına boylamsal araştırmalara öncelik verilmelidir.
2. Nitel Araştırmalara Ağırlık Verilmelidir: Yalnızca başarı puanlarını ölçen nicel çalışmalar yerine, öğrencilerin yapay zekâ ile etkileşirken geçirdikleri zihinsel dönüşümleri, düşünme süreçlerini ve üstbilişsel arayışlarını anlamlandırmak üzere daha fazla nitel durum çalışması ve sesli düşünme protokolü içeren tasarımlar yapılmalıdır (Filiz & Gür, 2025).
3. Farklı Kültürel ve Coğrafi Bağlamlar İncelenmelidir: Yapay zekanın matematik eğitimindeki etkilerinin evrensel düzeyde anlaşılabilmesi adına, Asya dışındaki coğrafyalarda, gelişmekte olan ülkelerde ve farklı sosyo-ekonomik düzeydeki okullarda deneysel ve karşılaştırmalı çalışmalar artırılmalıdır (Fang vd., 2025).
4. Pedagojik İskele Tasarımları Geliştirilmelidir: Program geliştiriciler ve yapay zekâ tabanlı eğitim yazılımı üreten mühendisler, öğrencilere doğrudan nihai cevabı veren sistemler yerine; öğrencilerin hata türlerine göre kademeli ipuçları üreten, onları sorgulamaya yönelten ve eleştirel düşünme süreçlerini tetikleyen tasarımlarına odaklanmalıdır (Liu vd., 2025b; Susilawati vd., 2025).

5. KAYNAKÇA

Canonigo, H. (2024). Impact of AI-assisted instruction on student engagement and academic performance in mathematics. *Journal of Educational Technology Systems*, 52(3), 210–225.

Chau, K. T., Lee, C. W., & Wang, Y. (2025). AI chatbot models for enhancing mathematical problem-solving competencies in secondary education. *Journal of Educational Technology*, 21(1), 45–58.

Cheng, C. H., & Chen, C. H. (2022). Investigating spatial problem-solving strategies of expert and novice students in game-based AI environments. *Computers & Education*, 185, 104523. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104523

Fang, Y., Zhang, L., & Liu, M. (2025). Parasocial interaction and collaboration in STEAM education: The role of AI-based pedagogical agents. *Educational Technology Research and Development*, 73(2), 312–329.

Filiz, M., & Gür, H. (2025). Üniversite öğrencilerinin matematiksel problem çözme süreçlerinde ChatGPT kullanımına ilişkin üstbilişsel farkındalıkları. *Türk Bilgisayar ve Matematik Eğitimi Dergisi (TURCOMAT),* 16(1), 89–104.

Liu, J., Keane, T., Sun, D., Yang, Y., & Yang, Y. (2025a). ChatGPT-supported mathematical problem solving in primary schools: Learning performance, attitudes and interaction. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 9, 100438.

Liu, J., Keane, T., Sun, D., Yang, Y., & Yang, Y. (2025b). Design and evaluation of ChatGPT-MWPS: An AI-enhanced learning system for improving primary students' mathematical word problem solving. *Smart Learning Environments,* 12, 68.

Nabiyev, V., Karal, H., Arslan, S., Erumit, A. K., & Cebi, A. (2013). An artificial intelligence-based distance education system: Artimat. *Turkish Online Journal of Distance Education (TOJDE)*, 14(2), 54–65.

Ng, P. H. F., Chen, P. Q., Wu, A. C. H., Tai, K. S. K., & Li, C. (2024). Reimagining STEM learning: A comparative analysis of traditional and service learning approaches for social entrepreneurship. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 17, 2212–2225.

Remoto, M. (2024). Technical limitations and pedagogical challenges of AI tools in secondary mathematics classrooms. *International Journal of STEM Education*, 11(1), 102–118.

Silva, R. (2025). Theoretical perspectives on generative AI in mathematics problem solving: A critical discourse. *Educational Review*, 77(1), 45–61.

Song, X., Mak, J., & Chen, H. (2025). Teachers and learners' perceptions about implementation of AI tools in elementary mathematics classes. *SAGE Open*, 15(2), 1–14.

Sung, W., Ahn, J., & Black, J. B. (2017). Introducing computational thinking to young learners: Practicing computational perspectives through embodiment in mathematics education. *Technology, Knowledge and Learning*, 22, 443–463.

Susilawati, W., Dahlan, J. A., & Herman, T. (2025). Integrating realistic mathematics education, gamification, and AI technologies to enhance students' learning motivation. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 56(3), 411–427.

Torres-Peña, A., Gomez, R., & Morales, L. (2024). Affective dimensions and self-efficacy in AI-driven learning environments. *Computers in Human Behavior*, 150, 107980.

Yunianto, A., Suparman, S., & Prabowo, A. (2024). Computational thinking vs. mathematical problem solving: A case study on AI-assisted learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 2710, 012015.

MEVKİ İSİMLERİ ÜZERİNDEN KÜLTÜREL PEYZAJIN OKUNMASI: SAFRANBOLU ÇEVRESİNDEKİ ÜÇ KÖYÜN MİKRO-TOPONİMİK ANALİZİ

Assist. Prof. Dr. Emre KARATAŞ
Karabük University, Safranbolu Başak Cengiz Faculty of Architecture, Department of Architecture, 78600 Safranbolu, Karabük
ORCID ID: 0000-0002-1853-8816
Assist. Prof. Dr. Muhammet Ali HEYİK
Yıldız Technical University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, 34349 Yıldız-Beşiktaş, İstanbul
ORCID ID: 0000-0002-7008-2721

ÖZET
Doğa ve insan arasındaki etkileşimi yansıtan kültürel peyzajlar, kolektif kimliğin en önemli bileşenlerinden biridir. Bu peyzajlar genellikle doğal çevrenin karakteriyle uyumlu olarak geliştirilen sürdürülebilir arazi kullanım modelleri sergilemektedir. Dahası kültürel peyzajlardaki yer isimleri hem doğal hem de kültürel değerlere ve bir yerleşimin mekânsal hafızasına dair önemli bilgiler sağlamaktadır. Bu nedenle, bu alanlardaki mikro-toponimik verilerin belirlenmesi ve analizi, sürdürülebilir kırsal planlama için büyük bir önem taşımaktadır. Bu çalışmanın amacı, UNESCO Dünya Miras Alanı olan Safranbolu çevresinde bulunan üç miras köyündeki mevki isimleri aracılığıyla kültürel peyzajı incelemektir. Günümüzde bu köyler, nüfus azalması, insan müdahalesi ve doğal afetler de dahil olmak üzere çeşitli faktörlerden kaynaklanan kritik koruma sorunlarıyla karşı karşıyadır. Çalışma kapsamında, Bulak, Yazıköy ve Yörük köylerinin tüm resmi mevki isimleri toponimik bir perspektiften ele alınmıştır. Aynen yinelenen ve hatalı kayıtlar çıkarıldıktan sonra, toplam 210 mikro-toponimik veri kategorize edilmiştir. Bunların yaklaşık %45'i su kaynaklarını, arazi şekillerini, bitki örtüsünü ve yaban hayatını tanımlayan coğrafi ve biyolojik bileşenlere; %21'i arkeolojik değerlere, somut kültürel mirasa ve yapılı çevreye; %22'si ise üretim yöntemleri, etnik kökenler ve inançlar gibi somut olmayan değerlere atıfta bulunmaktadır. Geri kalan %12'si ise bu değerlerin kesişimini yansıtmaktadır. Çalışmanın temel bulguları, doğal bileşenlerin, somut ve somut olmayan değerlerin ve tarihi katmanların birbirleriyle ve mekânsal hafıza ile nasıl etkileşimde bulunduğunu gösteren, çok katmanlı bir kültürel peyzaj mirasını ortaya koymaktadır. Bu çalışma, Safranbolu kırsal peyzajındaki mikro-toponimi unsurlarının sadece coğrafi tanımlayıcılar olmadığını, aynı zamanda geleneksel arazi kullanım uygulamalarını, tarihi süreçleri, sosyoekonomik değerleri ve kolektif hafızayı günümüze taşıyan temel kültürel miras unsurları olduğunu göstermektedir. Sonuç olarak, mikro-toponimik verilerin bütüncül bir yaklaşımla miras yönetim stratejilerine entegre edilmesi önerilmektedir.
Anahtar kelimeler: Kültürel peyzaj, mikro-toponimik analiz, mevki isimleri, Safranbolu

READING THE CULTURAL LANDSCAPE THROUGH PLACE NAMES: A MICRO-TOPONYMIC ANALYSIS OF THREE VILLAGES AROUND SAFRANBOLU

ABSTRACT
Cultural landscapes, reflecting the interaction between nature and humans, constitute a vital component of collective identity. These landscapes often embody sustainable land-use patterns developed in harmony with the character of the natural environment. Furthermore, toponymic components within cultural landscapes provide crucial insights into both natural and cultural values, as well as the spatial memory of a settlement. Therefore, the identification and analysis

of micro-toponyms in these areas hold significant importance for sustainable rural planning. The objective of this study is to examine the cultural landscape through place names in three heritage villages surrounding the city of Safranbolu, a UNESCO World Heritage Site. Currently, these villages face critical conservation challenges driven by various factors, including depopulation, human intervention, and natural disasters. Within the scope of the study, all official place names of the Bulak, Yazıköy, and Yörük villages are addressed from a toponymic perspective. After filtering out duplicates and erroneous records, a total of 210 micro-toponyms were categorized. Among these, approximately 45% refer to geographical and biological components defining water resources, landforms, vegetation, and wildlife; 21% represent archaeological values, tangible cultural heritage, and the built environment; and 22% relate to intangible values such as production methods, ethnic origins, and beliefs. The remaining 12% reflect the intersection of values with differing characteristics. The main findings of the study reveal a multi-layered cultural landscape heritage, demonstrating how natural components, tangible and intangible values, and historical layers interact with one another and with the spatial memory of the settlements. This study demonstrates that the micro-toponyms in Safranbolu's rural landscape are not merely geographical identifiers, but essential cultural heritage elements that carry traditional land-use practices, historical processes, socio-economic values, and collective memory to the present day. Consequently, it is recommended that micro-toponyms be integrated into heritage management strategies through a holistic approach.
Keywords: Cultural landscape, micro-toponymic analysis, place names, Safranbolu

1. GİRİŞ

Bir coğrafya, üzerinde yaşayan insanların oraya isim vermesi ile kimlik sahibi bir yere dönüşmektedir. Bu bağlamda yer adları (toponimler) sadece yeri tanımlamaya yarayan bir gösterge olmaktan ziyade, coğrafi, biyolojik ve somut değerleri, inanç ve gelenekler gibi somut olmayan değerleri ve tarihsel süreçleri kolektif hafıza ile mekâna kaydeden birer arşiv niteliğindedir (Martina vd., 2025). Ayrıca mikro-toponimler yerel halkın mekânı nasıl algıladığını ve geleneksel olarak nasıl işlevlendirdiğini de yansıtmaktadır. Büyük bir kısmı belgelenmemiş olan bu kaybolmakta olan veriler, kültürel peyzajlar içerisinde miras katmanlarını temsil etmektedir (Çelik & Uysal, 2020).

Dünya Miras Kenti Safranbolu gibi, onun kırsal alanları da çeşitli kültürel peyzaj zenginliklerini barındırmaktadır. Çalışma kapsamında doğal ve kültürel bileşenleri bir arada bulunduran, zengin değerleri ve konumları sebebiyle kültürel miras koruma ve turizm açısından yüksek potansiyele sahip, Safranbolu çevresindeki üç köy olan Bulak, Yazıköy ve Yörük köyleri ele alınmaktadır.

Bulak Köyü, Safranbolu'nun tarihi merkezine 7 km mesafede, büyük bir kanyonun kenarına konumlanmıştır. Köy, zengin su kaynakları ve doğal değerlerin yanı sıra, kentsel sit alanı içerisinde çok sayıda somut ve somut olmayan kültürel miras öğelerini barındırmaktadır (Türkoğlu, 2014). Yazıköy, tarihi şehir merkezine 5 km mesafede düzlük bir alanda kurulmuştur. Türkiye ile Yunanistan arasında yapılan nüfus mübadelesinden önce Rum azınlığın Türkler ile birlikte yaşadığı bu köy, bu iki kültürel katmana dair çok sayıda eser barındırmakta ve somut olmayan kültürel miras öğeleri ve anlatılara ev sahipliği yapmaktadır (Sevgi vd., 2025). Yörük Köyü ise Safranbolu'ya 11 km mesafede Safranbolu-Kastamonu kervan yoluna yakın bir konumda kurulmuş bir Osmanlı-Türk köyüdür. Bu köy bünyesinde barındırdığı Bektaşi kültürünün izleri ile çevredeki diğer yerleşimlerden ayrılmaktadır (Demirarslan, 2011). Kentsel sit alanı dahilinde bulunan bu yerleşim, sahip olduğu çok sayıda sivil mimari eser ve doğal değerleri ile bir turizm köyü olarak öne çıkmaktadır (Dönmez vd.,

2015).

Mevcut literatürde, kültürel peyzajın ve mekânsal belleğin çözümlenmesinde önemli bir kaynak oluşturan toponimlerin Safranbolu kırsalı için sınırlı düzeyde ele alındığı görülmektedir (Çelik & Uysal, 2020; Deniz & Ersöz, 2020; Yakupoğlu, 2025). Buna ek olarak kültürel peyzaj bağlamında Safranbolu çevresine yönelik mevcut araştırmalar çeşitli veriler sunmakla birlikte, genellikle tematik açıdan parçalı bir karakter sergilemektedir. Örneğin literatürde Bulak Köyü, daha çok mimarisi ve yerleşim planlaması, Osmanlı dönemindeki sosyoekonomik yapısı ve özel bir gastronomi öğesi ile (Bölükbaşı Ertürk, 2020; Deniz & Yavaş, 2020; Şenyurt, 2020; Türkoğlu, 2014), Yörük Köyü geleneksel sivil mimarisi ve kültürel kökenleri üzerinden (Göçer, 2018; Karadeniz, 2023), Yazıköy ise kültürel katmanlaşma ve somut olmayan kültürel mirası ile ele alınmıştır (Deniz & Yavaş, 2020; Sevgi vd., 2025). Ancak, bu köylerin yakın bir coğrafi havzada paylaştıkları kültürel peyzajı, mikro yer adları üzerinden bütüncül ve karşılaştırmalı bir yaklaşımla inceleyen bir araştırma tespit edilememiştir. Bu araştırma, Bulak, Yazıköy ve Yörük köylerinde tespit edilen resmi mevki isimlerini sistematik olarak inceleyerek literatürdeki bu boşluğu doldurmayı hedeflemektedir. Araştırma, sadece yer adlarını listelemekle kalmayıp, yerleşimlerin kendi doğal, tarihi, kültürel ve sosyoekonomik karakterlerinin kültürel peyzajları ifade eden dile nasıl yansıdığını inceleyerek literatüre özgün bir katkı sunmayı hedeflemektedir.

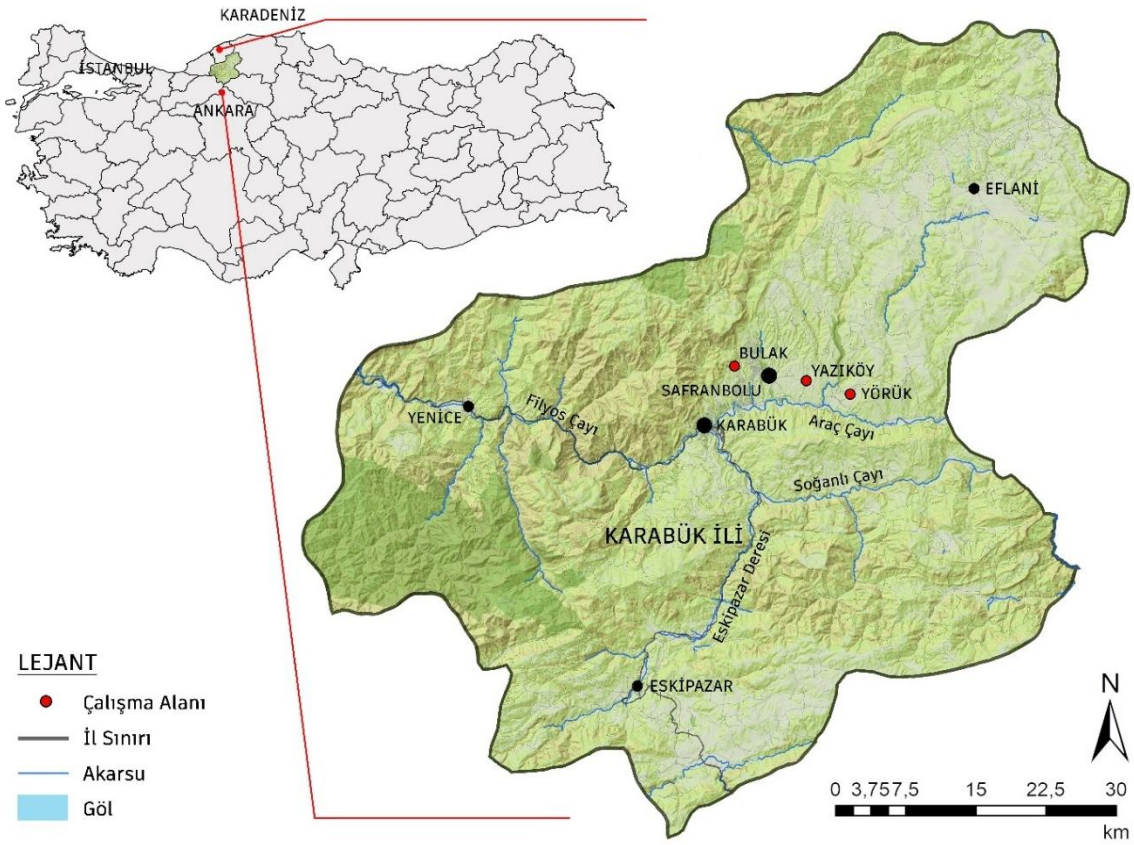
Çalışma kapsamında üç köyün tapu-kadastro bilgilerinde kayıtlı mevki isimlerinin tamamı taranmıştır. Bu mevki isimlerinden aynen tekrar eden ve hatalı yazımlar çıkarıldıktan sonra geriye kalan 210 adedi çalışmaya dahil edilmiştir. Bu kapsamda tespit edilen mikro-toponimik veriler dört kategoriye ayrılarak analiz edilmiştir.

Çalışmada, üç köyün mikro-toponimik öğelerinin, kültürel peyzajların doğal, tarihsel, kültürel ve sosyoekonomik katmanlarını nasıl yansıttığı araştırılmaktadır. Çalışmanın amacı Bulak, Yazıköy ve Yörük köylerini kapsayan araştırma ile mikro-toponimik öğeler üzerinden yerleşimlerin kimliklerinin, hafızalarının ve kültürel peyzaj potansiyellerinin ortaya konulmasıdır.

2. ÇALIŞMA ALANI

Safranbolu şehri Osmanlı-Türk sivil mimarisinin eşsiz örneklerine ev sahipliği yapmaktadır. UNESCO, Safranbolu'nun kültürel mirasını ve eşsiz coğrafyasıyla bütünleşen şehir planını "üstün evrensel değer" açısından vurgulamaktadır (UNESCO, 1994). Kültürel miras koruma konusundaki son yaklaşımlar tarihi şehir dokularının çevresindeki kırsal peyzajlarla birlikte bir kültürel ekosistem olarak değerlendirilmesinin önemini ortaya koymaktadır (Rey-Pérez & Pereira Roders, 2020). Kültürel peyzajların zenginliği bakımından Bulak, Yazıköy ve Yörük köyleri Safranbolu çevresinde öne çıkan üç kırsal yerleşimdir (Deniz & Yavaş, 2020; Özköse, 2003; Sevgi vd., 2025; Türkoğlu, 2014).

Bu araştırma kapsamında çalışma alanı Türkiye'nin Batı Karadeniz Bölümü'nde yer alan Karabük iline bağlı, tarihi Safranbolu şehri çevresindeki Bulak, Yazıköy ve Yörük köyleri olarak belirlenmiştir (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma alanının haritası.

Aşağıda bu üç köyün karakterini oluşturan doğal ve kültürel değerleri aktarılmıştır.

Bulak Köyü: İsminin de işaret ettiği üzere zengin su kaynaklarına sahip, Bulak Vadisi'nin yamacına kurulmuş bir yerleşimidir. Köyün nitelikli iş gücü, ahşap zanaatı bakımından yerel konut mimarisini biçimlendirmiştir. Köy yerleşimi halihazırda kentsel sit alanı sınırları içerisindedir (Türkoğlu, 2014).

Köyün somut olmayan kültürel mirası hamam kültürü, bağcılık ve kolektif bir uygulama olan "keşkek pişirme" geleneğinde görünür hale gelmektedir (Bölükbaşı Ertürk, 2020; Deniz & Yavaş, 2020), (Şekil 2).

Şekil 2. Bulak Köyü yerleşimi (solda) ve köyde bir sokak (sağda).

Yazıköy Köyü: Yazıköy isminin de çağrıştırdığı üzere, düz bir topografyada, tarımsal üretim karakteriyle öne çıkan bir kırsal yerleşimdir. Türkiye ile Yunanistan arasında yapılan nüfus mübadelesi öncesinde, köyün çok kültürlü geçmişiyle, somut ve somut olmayan kültürel

değerleri zenginleşmiştir (Turhan Sarıköse & Sarıköse, 2025).
Köyde geniş bir doku ve çeşitlilik arz eden çok katmanlı mimari öğeler mekânsal bellekte, somut kültürel miras varlıklarını, hamam kültürü, bağcılık ve bayramlarda kolektif şekilde hazırlanan kutlama yemeği olan keşkek ise toplumsal dayanışmayı ve somut olmayan kültürel mirası temsil etmektedir (Deniz & Yavaş, 2020; Sevgi vd., 2025), (Şekil 3).

Şekil 3. Yazıköy yerleşimi (solda) ve köyde bir sokak (sağda).

Yörük Köyü: Safranbolu-Kastamonu kervan yolu üzerinde, Araç Çayı havzasında nispeten düzlük bir alanda yer almaktadır. Konar-göçer Türk kültürü ve Bektaşilik geleneği ile şekillenmiş özgün bir yerleşimdir. Köyün somut mimari mirasını oluşturan büyük ölçekli konakların tasarımları ve süslemeleri bölgedeki kırsal sivil mimarinin eşsiz örneklerini yansıtmaktadır (Demirarslan, 2011).
Köy yerleşimi, 2000'li yıllardan bu yana, özellikle kültürel değerlerin yerel halk öncülüğünde sergilendiği bir turizm köyü olarak öne çıkmaktadır. Diğer taraftan köyün 2024 yılında Birleşmiş Milletler Dünya Turizm Örgütü (UN Tourism) tarafından "En İyi Turizm Köyleri Gelişim Programı'na" dahil edilmesinin, yerleşimdeki turizm faaliyetlerini destekleyici bir unsur olduğu değerlendirilmektedir (UN Tourism, 2024), (Şekil 4).

Şekil 4. Yörük Köyü'nde bir sokak (solda) ve bir ziyaretçi kafilesi (sağda).

Aşağıda bu üç yerleşimin doğal, somut ve somut olmayan kültürel miras bakımından öne çıkan karakteristik özellikleri tablo halinde gösterilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1. Bulak, Yazıköy ve Yörük köylerinin karşılaştırmalı baskın kültürel peyzaj karakteri.

Köyler	Doğal Değer	Somut Kültürel Değer	Somut Olmayan Kültürel Değer
Bulak	Vadi yamacına kurulu köy ve akarsulu kanyon peyzajı	Geleneksel köy dokusu, bağ evleri, tarımsal yapılar ve arkeolojik alanlar	Dülgerlik zanaatı, hamam kültürü, bağcılık ve kolektif keşkek kültürü
Yazıköy	Verimli tarım alanlarıyla kaplı düz ova peyzajı	Mübadele öncesi dönemin izlerini taşıyan geleneksel köy mimarisi ve çok katmanlı dini mimari	Hamam kültürü, bağcılık, kolektif keşkek kültürü ve etnografik anlatılar
Yörük	Hafif eğimli plato ve akarsu havzası peyzajı	Yörük kültürünün izlerini yansıtan süslemeli büyük konaklar ve geleneksel köy dokusu	Folklor oyunları ve Bektaşilik kültürü

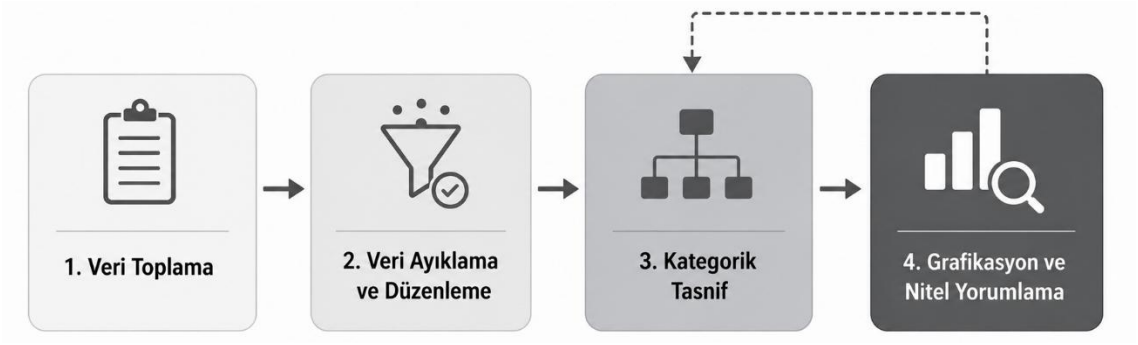
Günümüzde bu köyler pek çok koruma sorunuyla yüz yüze bulunmaktadır. Kırsal alanlardaki nüfus azalması sebebiyle kültürel miras alanları terk edilmektedir. Bu durum kültürel mirasın bakımsız ve sahipsiz kalmasına yol açmakta ve yangın gibi afetlere karşı bu alanları savunmasız bırakmaktadır (Özköse, 2003). Dahası bilinçsiz uygulamalar sebebiyle köylerin özgün yapısı tehdit altında kalmaktadır. Yazıköy'de yaşanan yeni yapılaşma baskısı ve Bulak Köyü'ndeki otantik ve sağlam Arnavut kaldırımların bozularak yenilenmesi, bu yerleşimlerde kültürel peyzaja önemli ölçüde zarar veren değişimlerin yakın zamandaki örnekleri olarak gösterilebilir.

3. MATERYAL VE METOT

Çalışmanın metodolojisi dört ana aşamadan oluşmaktadır.

1. Veri toplama: Araştırmanın temel veri seti olan Bulak, Yazıköy ve Yörük yerleşimlerinin bütün mevki isimleri Karabük Kadastro Müdürlüğü'nden temin edilmiştir.
2. Veri düzenleme ve ayıklama: Elde edilen veriler aynı yeri ifade eden tekrarlar ve hatalı yazımlardan ayıklanarak düzenlenmiştir.
3. Kategorik tasnif: Düzenlenen veri seti kültürel peyzaj ve miras koruma literatürüne uygun bir biçimde üç ana kategori ve bunların kesişiminden oluşan bir çoklu kategoriye ayrılmaktadır (Güzel & Yeşil, 2021). Kategoriler, 1: Coğrafi ve Biyolojik Değer çağrışımlı bileşenler (CB), 2: Yapılı Çevre ve Somut Değer çağrışımlı bileşenler (YS), 3: Üretim Biçimleri ve Somut Olmayan Değer çağrışımlı bileşenler (ÜS) ve 4: Çoklu Çağrışımlı bileşenler (CC) olarak ele alınmaktadır.
4. Grafikasyon ve nitel yorumlama: Son aşamada, kategoriler arasındaki dağılım ve ilişkiler Sankey diyagramı aracılığıyla görselleştirilmiş ve elde edilen bulgular kültürel peyzaj ile mekânsal bellek bağlamında yorumlanmıştır.

Metodolojik akış şeması aşağıda gösterilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Metodolojik akış şeması.

Çalışma aşamalarının birbirine entegre biçimde kurgulanması sayesinde, mikro-toponimik verilerin sistematik şekilde sınıflandırılması, kategoriler arasındaki ilişkilerin ortaya konulması ve bunların kültürel peyzaj ile mekânsal bellek bağlamında bütüncül olarak yorumlanmasının mümkün olması hedeflenmiştir.

4. BULGULAR

4.1. Coğrafi ve Biyolojik Değer Çağrışımlı Bileşenler (CB)

Coğrafi ve biyolojik değer çağrışımlı mikro-toponimik bileşen (CB) kapsamında toplam 94 mevki ismi belirlenmiştir. Bu bileşenler (1) su kaynakları ve hidrografik unsurları, (2) topografya ve zemin özelliklerini, (3) bitki örtüsü ve bitkisel unsurları ve (4) yaban hayatı ve hayvan unsurlarını yansıtmaktadır (Ek 1).

Su kaynakları ve hidrografik unsurlara ilişkin pınar, çay, dere ve göl gibi doğal peyzaj unsurlarının öne çıktığı görülmektedir. "Aşağı pınar", "Çay kenarı", "Gökdere" ve "Göller" gibi örnekler, bu tür unsurların mekânsal özellikleri tanımlamakta kullanıldığını göstermektedir.

Topografya ve zemin özelliklerinin arazinin bakısı (kuzey, güney vb.), yapısı (kaya, toprak, kum vb.), biçimi (in, mağara, çukur, göçük, yazı, tepe, yokuş vb.) ve niteliği (çorak, çörde, çaldır vb.) göz önüne alınarak isimlendirildiği anlaşılmaktadır. "Kuzgeçe", "Kumluk", "Akyazı" ve "Çorakbaşı" gibi isimlendirmeler bu tür özelliklerin mekânsal isimlendirmede etkili olduğunu işaret etmektedir.

Bitki örtüsü ve bitkisel unsurların genellikle doğal bitki örtüsü ve meyve türleri üzerinden ele alındığı tespit edilmiştir. "Çatal ahlat", "Kabaçam", "Kamışlık", "Kara kiraz" ve "Sıra meşelik" bu tür kullanımlara örnek teşkil etmektedir.

Ayrıca yaban hayatı ve hayvan isimlerinin de mikro-toponimlerde kullanıldığı görülmektedir. "Çakal yuvası", "Karga pınarı" ve "Sülük gölü" gibi isimlendirmeler bu arazilerin doğal işlevlerine güçlü bir şekilde atıf yapmaktadır.

CB grubu mikro-toponimlerin su kaynaklarının durumu, topografik özellikler, doğal çevrenin görünümü ve biyolojik çeşitlilik hakkında yerel kültürel peyzaj bilgisini taşıyan bir arşiv niteliğinde olduğu görülmektedir.

4.2. Yapılı Çevre ve Somut Değer Çağrışımlı Bileşenler (YS)

Yapılı çevre ve somut değer çağrışımlı mikro-toponimik bileşenler (YS) kapsamında toplam 45 adet mevki ismi belirlenmiştir. Bu kategorideki isimlendirmeler, (1) yerleşim ölçeği, (2) inanç temelli açık mekânlar, (3) ulaşım unsurları, (4) yapı ve altyapı ölçeğindeki unsurlar ve (5) tarihsel ve arkeolojik katmanları kapsamaktadır (Ek 2).

İsimlendirmelerde yerleşim ölçeğine ilişkin olanların öne çıktığı görülmektedir. Buna ilişkin "Köyiçi", "Köyaltı" ve "Yukarımahalle" gibi örnekler bulunmaktadır.

İnanç temelli açık mekânlara dair isimlendirmelere de sıklıkla rastlanmaktadır. "Köristan",

"Mezarlık", "Musalla" ve "Namaz çakılı" gibi örnekler inanç pratikleri ve defin kültürünün kırsal alandaki mekânsal izlerini açığa çıkarmaktadır.
"Akyol", "Köprücek", "Ortayol" ve "Uluyol" gibi örnekler bölgedeki ulaşım altyapısına ve sistemine dair önemli veriler sağlamaktadır.
Yapı ve altyapı ölçeğindeki isimlendirmeler geleneksel üretim yapıları, dini yapılar, sulama altyapısı gibi somut kültürel mirasa işaret etmektedir. "Cami kebir mahallesi", "Ulucami" ve "Savakbaşı" gibi toponimler bunlara örnek verilebilir.
"Sarayın bahçesi", "Dikilitaş", "Mal tepesi", "Asar karşısı" ve "Haraplar" gibi adlandırmalar ise geçmişteki yapı, arkeolojik kalıntı veya tarihsel alanlara ilişkin somut kültürel miras izlerinin mikro-toponimlerde korunduğunu düşündürmektedir.
Genel olarak YS grubu, yalnızca mevcut yapıların değil, kısmen ortadan kalkmış, işlevini yitirmiş veya fiziksel olarak değişmiş yapı ve mekânların da yerel hafızada mikro-toponimler aracılığıyla yaşamaya devam ettiğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle söz konusu adlandırmaların, yerleşimlerin tarihi dokusunun ve somut kültürel miras unsurlarının tespitinde tamamlayıcı bir veri kaynağı olduğu anlaşılmaktadır.

4.3. Üretim Biçimleri ve Somut Olmayan Değer Çağrışımlı Bileşenler (ÜS)

Bu kapsamda toplam 46 mevki adı belirlenmiştir. Bu kategorideki isimlendirmeler, (1) tarım-hayvancılık ve ürün işleme yöntemlerinin, (2) kişi ve boy isimlerinin ve (3) sosyal yapı ve inanç unsurlarının mekânsal belleğe yansıtıldığını göstermektedir (Ek 3).
Tarım-hayvancılık ve ürün işleme yöntemlerinin ÜS grubu bileşenler arasındaki en baskın unsur olduğu görülmektedir. "Arpalık", "Değirmenbaşı", "Dibek önü", "Güvercinlik", "Harmanlar", "Hızar yanı", "Kırbağ" ve "Malak cevizi" gibi isimlendirmeler tarımsal üretim ve hayvancılık mekânlarının kültürel peyzaj içerisindeki yerine işaret etmektedir.
Kişi ve boy adlarını çağrıştıran bileşenlere de sıklıkla rastlanmaktadır. "Büyükoğuz", "Hatip bahçesi", "Kadıbağı", "Kösten oğlu bağı" ve "Subaşıbahçesi" gibi isimler kişi adı, unvan, aile veya topluluk kimliklerinin belirli mekânlarla ilişkilendirilerek yaşatıldığını göstermektedir.
Sosyal yapı ve inanç unsurlarıyla ilişkili mikro-toponimler, kırsal toplulukların inanç dünyası ve sosyal ilişkilerinin mekâna yansıyan izlerini içermektedir. "Erenler" ve "İhsan yeri" gibi adlandırmalar, belirli mekânların yalnızca fiziksel özellikleriyle değil, toplumsal ve inanç temelli anlamlarla da tanımlandığını ortaya çıkarmaktadır.
Genel olarak ÜS grubundaki bileşenler, mikro-toponimlerin yalnızca fiziksel mekânları tanımlamadığını; üretim teknikleri, tarım-hayvancılık faaliyetleri, bireysel ve toplumsal kimlikler ile inançlara dair göstergeleri mekânsallaştırdığını ortaya koymaktadır. Bu nedenle söz konusu adlandırmalar, geçmişteki kırsal üretim sistemlerinin ve somut olmayan kültürel değerlerin yeniden okunmasında önemli bir yerel bellek kaynağı olarak değerlendirilebilir.

4.4. Çoklu Çağrışımlı Bileşenler (CC)

Çoklu Çağrışımlı Bileşenler (CC) kapsamında toplam 25 mikro-toponim belirlenmiştir. CB + ÜS, CB + YS ve YS + ÜS gruplarının yan yana gelmesiyle oluşturulan bu kategori, tek bir unsura indirgenemeyen, birden fazla anlam ve çağrışımı aynı anda barındıran mevki isimlerini kapsamaktadır (Ek 4).
CB + ÜS mikro-toponimleri bu alandaki en yaygın etkileşimi yansıtarak, coğrafi ve biyolojik unsurlar ile üretim biçimleri ve somut olmayan değerlerin birlikte yoğun olarak anlamlandırıldığını göstermektedir. "Derebağ", "İhsan pınarı", "Keş pınarı", "Otman pınarı" ve "Panayır deresi" gibi isimlendirmeler doğal unsurların üretim, inanç ve sosyal değerlerle birleşerek çok katmanlı mekânsal referanslar oluşturduğunu ortaya koymaktadır.
CB + YS mikro-toponimleri coğrafi ve biyolojik unsurlar ile yapılı çevre ve somut değerlerin etkileşimini göstermektedir. "Asar deresi", "Karakiraz savağı" ve "Köy deresi" gibi bileşenler insan müdahalesi ile şekillendirilen doğal alanlara atıf yapmaktadır. Bu durum, kırsal kültürel

peyzajda doğal ve yapılı çevrenin birbirinden bağımsız değil, birbiriyle ilişki içerisinde algılandığına işaret etmektedir.

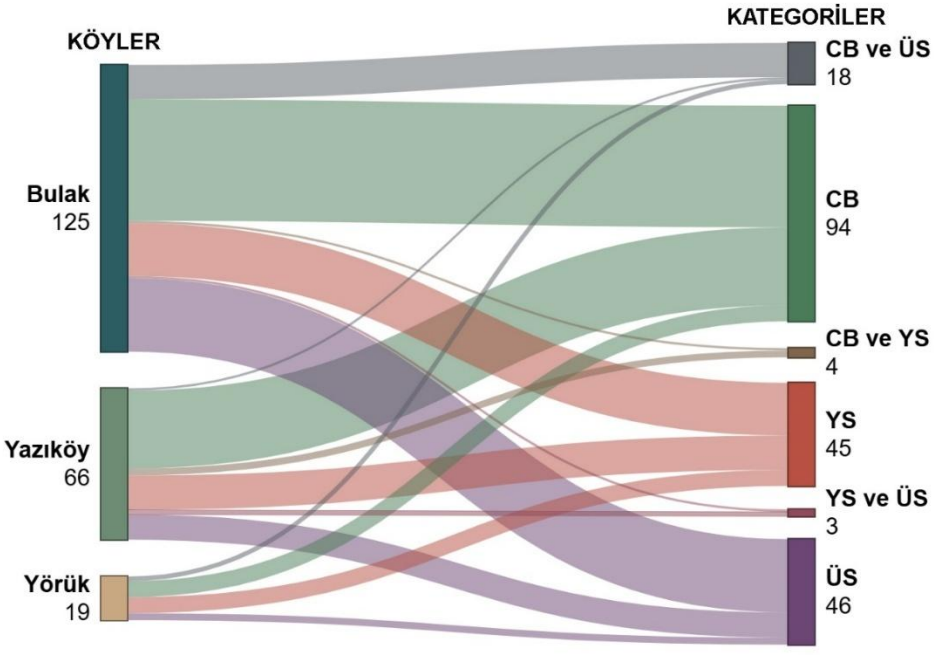
YS + ÜS grubu, yapılı çevre ve somut değerler ile üretim biçimleri ve somut olmayan değerlerin mikro-toponimler içerisinde birlikte bulunduğu durumları yansıtmaktadır. "Akyol erenler" gibi mevki isimleri yapılı çevreye ilişkin mekânsal referansların inanç temelli değerlerle birleşebildiğini göstermektedir.

Bu doğrultuda CC grubu, doğal zenginliklerin, yapılı çevre bileşenlerinin ve somut olmayan değerlerin, birbirleriyle etkileşim içerisinde bütüncül bir yapı meydana getirdiğini göstermektedir. Dolayısıyla bu bileşenler, mikro-toponimlerin çok katmanlı karakterini ortaya koyması ve bir yer adının aynı anda birden fazla çağrışımı taşıyabileceğini göstermesi bakımından önem arz etmektedir.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu çalışma, Safranbolu çevresindeki Bulak, Yazıköy ve Yörük köylerinde tespit edilen 210 mikro-toponimi kültürel peyzaj bağlamında incelemiştir. Bulgular, mevki isimlerinin yalnızca mekânsal konumları tanımlayan göstergeler olmadığını, doğal alanlara, yapılı çevreye, üretim biçimlerine, inançlara ve toplumsal hafızaya ilişkin bilgileri de taşıdığını göstermektedir. Bu sonuç, mikro-toponimlerin yerel çevrenin özelliklerini ve geçmişteki kullanım biçimlerini yansıtan birer kültürel bellek unsuru olduğunu ortaya koyan diğer çalışmalarla örtüşmektedir (Güzel & Yeşil, 2021; Martina vd., 2025).

Şekil 6'daki diyagram üç köyün mevki isimlerinin kategorik dağılımlarını göstermektedir. Diyagram, üç köyde de CB grubunun belirgin biçimde temsil edildiğini, ancak kategorilerin kendi içindeki oranlarının köylere göre bir miktar farklılaştığını göstermektedir. Mevki isimleri içerisinde doğal değerlere vurgu yapan CB'nin oransal üstünlüğü, somut değerleri vurgulayan YS ve somut olmayan değerlere işaret eden ÜS'nin ise birbirine yakın değerlerde olduğu görülmektedir. CB, YS ve ÜS'nin kesişimlerinden oluşan gruplar içerisinde "CB ve ÜS" grubu bileşenlerinin sayıca fazlalığı, doğal ve somut olmayan değerlerin mekân isimlerindeki etkileşimine dikkat çekmektedir.



CB: Coğrafi ve Biyolojik Değer çağrışımlı bileşenler; YS: Yapılı Çevre ve Somut Kültürel Değer çağrışımlı bileşenler; ÜS: Üretim Biçimleri ve Somut Olmayan Değer çağrışımlı bileşenler.

Şekil 6. Köyler ile kategorilerin ilişkilerini gösteren Sankey diyagramı.

210 mikro-toponimin yaklaşık %45'inin Coğrafi ve Biyolojik Değer çağrışımlı (CB) bileşenlerden oluşması, doğal çevrenin yerel adlandırma sistemindeki belirgin ağırlığını ortaya koymaktadır. CB bileşenleri, coğrafya, su kaynakları ve biyolojik çevrenin kırsal alanlardaki gündelik yaşam içerisinde temel mekânsal referansları oluşturduğunu göstermektedir. Bu durum doğal peyzajın, kültürel peyzajın fiziksel altyapısının yanı sıra mekânsal belleğini de oluşturduğunu düşündürmektedir. Bu bakımdan çalışmanın bulguları özellikle Türkiye'deki Karadeniz bölgesinde yapılan başka çalışmaların bulguları ile büyük oranda örtüşmektedir (Çelik & Uysal, 2020; Güzel & Yeşil, 2021).

Bununla birlikte, mevki isimleri arasında Yapılı Çevre ve Somut Değerler (YS) %21 ile Üretim Biçimleri ve Somut Olmayan Değerler ise (ÜS) %22 ile temsil edilmektedir. YS ve ÜS kategorilerinin birbirine yakın oranlarda temsil edilmesi, maddi ve sosyokültürel unsurların mikro-toponimik veri setinde birbirine yakın düzeylerde karşılık bulduğunu göstermektedir. YS ve ÜS kategorileri, kırsal mekânın yalnızca nerede olduğunu değil, nasıl kullanıldığını, kimlerle ve nelerle ilişkilendirildiğini ve hangi pratikler aracılığıyla anlam kazandığını da kaydetmektedir. Bu yönüyle mikro-toponimler, kırsal peyzajı yalnızca fiziksel unsurlar olarak değil, yerleşme, üretme, inanma ve anımsama pratiklerinin katmanlaştığı bir yaşam alanı olarak da okumaya imkân vermektedir.

Çalışmanın bir diğer önemli sonucu, 25 adet Çoklu Çağrışımlı (CC) mikro-toponimin diğer bileşenler içerisindeki %12'lik varlığıdır. Bunlar özellikle doğal unsurların, üretim biçimleri, inanç, tarihsel izler ve toplumsal değerlerle birlikte anlamlandırıldığını göstermektedir. Dolayısıyla mikro-toponimler, kültürel peyzajın doğal ve kültürel bileşenleri arasındaki ilişkileri görünür kılan bütünleşik göstergeler olarak değerlendirilebilir.

Tablo 1'de açıklandığı üzere, çalışma alanında Bulak, Yazıköy ve Yörük köylerinin kültürel peyzajlarında doğal ve kültürel değerler bakımından bazı karakteristik farklılıklara sahip olduğu görülmektedir (Bölükbaşı Ertürk, 2020; Deniz & Yavaş, 2020; Türkoğlu, 2014). Mikro-toponimik bulgular ise bu farklılıklarla birlikte ortak bir peyzaj hafızasının varlığına da işaret etmektedir. Nitekim Tablo 1'de tanımlanan vadi, ova, plato ve akarsu temelli farklı doğal peyzaj karakterlerinin, CB grubunda su, topografya ve biyolojik unsurlara yapılan göndermeler üzerinden mikro-toponimik karşılıklar bulduğu görülmektedir. Diğer taraftan üretim ve toplumsal yaşamın izleri ÜS grubunda, tarihsel ve yapılı çevrenin izleri ise YS grubunda görünür hâle gelmektedir. Böylece çalışma alanında önceden tanımlanan kültürel peyzaj karakterinin, mikro-toponimler aracılığıyla dilsel ve mekânsal bir hafıza katmanı olarak yeniden okunabildiği anlaşılmaktadır.

Bu çalışma resmi tapu-kadastro kayıtlarıyla sınırlıdır. Gelecek araştırmalarda mikro-toponimlerin yerel bilgi kaynakları ve CBS tabanlı analizlerle birlikte değerlendirilmesi, kaybolmakta olan kültürel peyzaj katmanlarının daha kapsamlı biçimde ortaya çıkarılmasına olanak sağlayabilir (Chloupek, 2018; Zhang vd., 2025).

Sonuç olarak mikro-toponimler, kültürel peyzajın sürdürülebilirliğinde fiziksel olarak değişmiş, işlevini yitirmiş veya ortadan kalkmış mekânlara ilişkin bilgilerin yerel hafızada korunmasını sağlayan bir veri katmanı olarak değerlendirilebilir. Bu yönüyle mikro-toponimler, mevcut kültürel miras varlıklarının belgelenmesinin yanı sıra, zaman içerisinde dönüşen veya kaybolan unsurların yeniden okunması için önemli ipuçları sunmaktadır. Bu nedenle mikro-toponimlerin tespit, koruma ve planlama süreçlerine dahil edilmesinin, kültürel peyzajın ve mekânsal belleğin korunmasına katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

Bölükbaşı Ertürk, A. E. (2020). Yöresel mimaride geçici yerleşimler: Bulak Köyü bağ evi örnekleri. *Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 13*(69), 532-546. https://doi.org/10.17719/jisr.2020.3976

Chloupek, B. R. (2018). A GIS approach to cultural and historical toponymic research in Nebraska. *Journal of Cultural Geography*, *35*(1), 23-43. https://doi.org/10.1080/08873631.2017.1317182

Çelik, A., & Uysal, R. (2020). Bartın ili Ulus ilçesi Uluköy ve Zafer köyleri mikrotoponimleri ve dil incelemesi. *RumeliDE Dil ve Edebiyat Araştırmaları Dergisi*, (21), 151-169. https://doi.org/10.29000/rumelide.839140

Demirarslan, D. (2011). Eski bir Bektaşi yerleşimi: Yörük Köyü'nde evler ve odanın oluşumu. *Türk Kültürü ve Hacı Bektaş Veli Araştırma Dergisi*, (58), 69-88.

Deniz, T., & Ersöz, D. (2020). Safranbolu Şehri yer adları: Mekân kimlik ve kültür. *International Journal of Geography and Geography Education (IGGE)*, *42*, 527-542.

Deniz, T., & Yavaş, B. (2020). Karşılaştırmalı bir kültürel coğrafya araştırması: Bulak ve Yazıköy (Safranbolu) kırsalında keşkek yapımı ve kültürü. *Journal of Humanities and Tourism Research*, *10*(3), 680-689. https://doi.org/10.14230/johut852

Dönmez, Y., Gökyer, E., & Aşkın, F. K. (2015). Safranbolu Yörük Köyü ve yakın çevresinin ekoturizm potansiyelinin R'WOT analizi ile değerlendirilmesi. *Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, (Özel sayı: 1), 70-83.

Göçer, A. (2018). Yerleşik yaşama geçmiş Yörüklerde konar-göçer yaşamın izleri üzerine bir kültür analizi: Yörük Köyü örneği. *Karabük Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, *8*(2), 227-241.

Güzel, M., & Yeşil, P. (2021). Ordu ilindeki mahalle adlarının doğal ve kültürel peyzaj ögeleri bağlamında incelenmesi. *ODÜ Sosyal Bilimler Araştırmaları Dergisi*, *11*(3), 763-776. https://doi.org/10.48146/odusobiad.912404

Karadeniz, B. (2023). *Vernacular and traditional architecture in Yörük Village, Safranbolu* [Master's thesis]. Yeditepe University Graduate School of Natural and Applied Sciences.

Martina, M., Duli, A., Armin, M. A., Darheni, N., Katubi, K., Widiastuti, R., Agus, N., Amanat, T., Nur Hidayah, A. M., Juliastuty, D., & Sutrisno, D. (2025). Exploring the semantic meaning of place names in describing the characteristics of the Pontianak City Region as a national mapping effort. *Forum for Linguistic Studies*, *7*(1), 244-259. https://doi.org/10.30564/fls.v7i1.7609

Özköse, A. (2003). Safranbolu'da Kıranköy, Tabakhane, Bulakköyü, Yazıköy ve Yörük Köyü'nde kaybolan kültür mirasımız. *I. Ulusal Tarih İçinde Safranbolu Sempozyumu (4-6 Mayıs 1999)*, 95-111.

Rey-Pérez, J., & Pereira Roders, A. (2020). Historic urban landscape: A systematic review, eight years after the adoption of the HUL approach. Içinde *Journal of Cultural Heritage Management and Sustainable Development* (C. 10, Sayı 3, ss. 233-258). Emerald Group Holdings Ltd. https://doi.org/10.1108/JCHMSD-05-2018-0036

Sevgi, S., Karataş, E., & Özbozkurt, Y. (2025). Traditional housing architecture in Safranbolu Yazıköy: A Greek house example. Içinde D. Öztaş, A. Tahiri, & F. E. Karat (Ed.), *3. Uluslararası Gaziantep Bilimsel Araştırmalar Kongresi* (ss. 64-81). İKSAD Publishing House.

Şenyurt, O. (2020). Osmanlı'nın son dönemlerinde Safranbolu Bulak Köyü'nün sosyal dokusu ve gündelik yaşamına ilişkin bir analiz. *Sosyologca*, *10*(20), 265-309.

Turhan Sarıköse, S., & Sarıköse, B. (2025). 1896-1897 yıllarında Safranbolu'ya bağlı köyler. *Avrasya Beşeri Bilim Araştırmaları Dergisi*, *5*(1), 102-112. https://doi.org/10.7596/abbad.310725.008

Türkoğlu, B. (2014). *Türkiye'de Karabük Bulak Köyü ve Safranbolu'da Yörük Köyü örneğinde kırsal sit alanları koruma imar planlarının karşılaştırılması*. Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

UN Tourism. (2024). *Best Tourism Villages Upgrade Programme*. https://tourism-villages.unwto.org/en/upgrade/

UNESCO. (1994). *City of Safranbolu*. https://whc.unesco.org/en/list/614/

Yakupoğlu, C. (2025). Karabük'te Türk iskânı ve Türkçe yer adları. *Tarih Kültür ve Sanat Araştırmaları Dergisi*, *14*(1), 1-20. https://doi.org/10.5281/zenodo.15746979

Zhang, W., Lai, Z., & Tang, S. (2025). Spatiotemporal distribution characteristics of Nanjing place names—Based on data mining of Tang-Song poetry and online travelogues. *PLoS ONE*, *20*(2). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0319244

EKLER

Ek 1. Coğrafi ve Biyolojik Değer çağrışımlı bileşenler (CB).

No	Köy	Mevki
1	Bulak	Akkuş dere
2	Bulak	Aktoprak
3	Bulak	Aktopraklık
4	Yazıköy	Akyazı
5	Yörük	Akyazı
6	Bulak	Aşagı göller
7	Bulak	Aşağı meşelik
8	Yazıköy	Aşağı pınar
9	Bulak	Aşağı pınarı
10	Bulak	Battal deresi
11	Yazıköy	Bündüldek
12	Yörük	Büyükçukur
13	Yazıköy	Büyükkağuz
14	Bulak	Cankaya
15	Yazıköy	Çakal çukuru
16	Bulak	Çakal yuvası
17	Bulak	Çaldır çukuru
18	Yazıköy	Çamdibi
19	Bulak	Çatal ahlat
20	Bulak	Çatalahlat
21	Bulak	Çay kenarı
32	Yazıköy	Gözdere
33	Yazıköy	Gözderebaşı
34	Bulak	Güleygeçe
35	Bulak	Güney geçe
36	Bulak	Güneygeçit
37	Yazıköy	Güngüldek
38	Yazıköy	Hamaz çakılı
39	Yazıköy	İkiz çukuru
40	Yazıköy	İnbaşı
41	Yazıköy	İnönü
42	Yazıköy	İnönü başı
43	Bulak	İble kaya
44	Bulak	İbler kaya
45	Bulak	İpler kaya
46	Bulak	İzler kaya
47	Yazıköy	Kabaçam
48	Bulak	Kamışlık
49	Bulak	Kan yamacı
50	Bulak	Karabaş pınarı
51	Bulak	Karabaş yanı
52	Yazıköy	Karakiraz
63	Bulak	Kuzgeçe
64	Bulak	Kuzlar
65	Bulak	Kuzlar çaykenarı
66	Yazıköy	Mağara başı
67	Yazıköy	Mağara deresi
68	Bulak	Mağara
69	Yazıköy	Mazgat deresi
70	Bulak	Mehlelik
71	Bulak	Melhelik
72	Bulak	Obluk
73	Bulak	Obruk
74	Bulak	Öte geçe
75	Bulak	Öte karşı
76	Bulak	Sarıkaya
77	Bulak	Sıra meşelik
78	Bulak	Sülük gölü
79	Yörük	Sülük gölü
80	Yazıköy	Tepe arkası
81	Yazıköy	Tepe yanı
82	Yazıköy	Tepealtı
83	Bulak	Yakacık

22	Yörük	Çorakbaşı
23	Yazık öy	Çörde
24	Yazık öy	Çörde başı
25	Yazık öy	Dallar yeri
26	Bulak	Eşe çukuru
27	Yazık öy	Göçen pınarı
28	Bulak	Göçük
29	Bulak	Gökdere
30	Bulak	Göller
31	Yörük	Gölyanı

53	Yazık öy	Karga pınarı
54	Bulak	Kaya yüzü
55	Bulak	Kayabaşı
56	Bulak	Kayacık
57	Yazık öy	Kazankaya
58	Bulak	Kilicekbaşı
59	Yazık öy	Kumcu dere
60	Bulak	Kumluk
61	Yazık öy	Kurtepesi
62	Yörük	Kurucagöl

84	Yazık öy	Yaslı ardıç
85	Yörük	Yazıbaşı
86	Yazık öy	Yeni pınarbaşı
87	Bulak	Yeni yer
88	Yazık öy	Yeniyer
89	Yazık öy	Yeniyeri
90	Bulak	Yokuş
91	Bulak	Yokuş dibi
92	Bulak	Yokuş yanı
93	Bulak	Yokuşbaşı
94	Bulak	Yukarı göller

Ek 2. Yapılı Çevre ve Somut Değer çağrışımlı bileşenler (YS).

No	**Köy**	**Mevki**
1	Bulak	Akyol
2	Yazık öy	Asar karşısı
3	Yazık öy	Aşağı köprücek
4	Bulak	Aşağı mahalle
5	Bulak	Başköy serisi
6	Bulak	Cami kebir mahallesi
7	Yazık öy	Dikilitaş
8	Yörük	Eskimezarlı kaltı
9	Bulak	Haraplar

No	**Köy**	**Mevki**
16	Bulak	Köy üstü
17	Yörük	Köyaltı
18	Yörük	Köybaşı
19	Bulak	Köyiçi
20	Yazık öy	Köyiçi
21	Yörük	Köyiçi
22	Yörük	Köyyanı
23	Yazık öy	Maltepesi
24	Bulak	Mezarlık

No	**Köy**	**Mevki**
31	Bulak	Musalla
32	Yazık öy	Namaz çakılı
33	Yazık öy	Namaz yeri
34	Yazık öy	Namazcı yeri
35	Bulak	Namibiler kariyeri
36	Yazık öy	Ortayol
37	Bulak	Öte mahalle
38	Bulak	Saray mahallesi
39	Bulak	Sarayın bahçesi

10	Bulak	Kılavuzlaryolu
11	Yazıköy	Köprücek
12	Bulak	Köristan (mezarlık yanı)
13	Bulak	Köy
14	Bulak	Köy içi-akyol
15	Bulak	Köy içinde
25	Bulak	Mezarlık altı
26	Yazıköy	Mezarlık arkası
27	Bulak	Mezarlık başı
28	Yörük	Mezarlık doruğu
29	Bulak	Mezarlık yanı
30	Bulak	Mezarlıküstü
40	Yazıköy	Savakbaşı
41	Yazıköy	Tahta kapı
42	Bulak	Ulucami
43	Yörük	Uluyol
44	Yazıköy	Yukarı köprücek
45	Yazıköy	Yukarımahalle

Ek 3. Üretim Biçimleri ve Somut Olmayan Değer çağrışımlı bileşenler (ÜS).

No	**Köy**	**Mevki**
1	Bulak	Arpalık
2	Yazıköy	Arpalık
3	Yazıköy	Aycirye
4	Yazıköy	Aygırye
5	Yazıköy	Büyük kağuz
6	Yazıköy	Büyükoğuz
7	Yazıköy	Çimkeci bahçesi
8	Bulak	Değirmen altı
9	Bulak	Değirmenbaşı
10	Bulak	Değirmenyanı
11	Bulak	Değirmenyolu
12	Bulak	Dibek önü
13	Bulak	Dibek yanı
14	Bulak	Döllük
15	Bulak	Erenler
17	Bulak	Erenler arkası
18	Yazıköy	Erenler başı
19	Bulak	Erenler (ihsan pınarı)
20	Yörük	Eymüraltı
21	Bulak	Geder altı
22	Bulak	Geder arkası
23	Yazıköy	Güvercinlik
24	Bulak	Harman yanı
25	Bulak	Harmancık
26	Bulak	Harmanlar
27	Bulak	Harmanlar (köyiçi)
28	Bulak	Harmanlaryanı
29	Bulak	Harmanlık
30	Bulak	Harmanyanı
31	Bulak	Harmanyeri
32	Bulak	Hatip bahçesi
33	Bulak	Hızar yanı
34	Bulak	İhsan yeri
35	Bulak	Kadı bağ
36	Bulak	Kadıbağı
37	Bulak	Kapanbaşı
38	Bulak	Kapanbaşı sırtı
39	Bulak	Karşıharman
40	Yörük	Kırbağ
41	Yazıköy	Kösten oğlu bağı
42	Yazıköy	Kösten oğlu bağ altı
43	Yazıköy	Köyiçi-arpalık
44	Bulak	Malak cevizi
45	Bulak	Subaşıbahçesi
46	Yörük	Yörük

16	Bulak	Erenler altı

Ek 4. Çoklu Çağrışımlı mikro-toponimik bileşenler (CC).

No	Köy	Mevki
1	Bulak	Akyol erenler
2	Yazıköy	Asar deresi
3	Bulak	Aşağıdereboğ
4	Bulak	Bulak köy içi
5	Bulak	Dere bağ
6	Bulak	Dere bağlar
7	Yörük	Derebağ
8	Yazıköy	Dirce savağı
9	Bulak	İhsan pınarı
10	Bulak	Kaptan deresi
11	Bulak	Karabacakderesi
12	Yazıköy	Karakiraz savagı
13	Bulak	Karşıbağyamacı
14	Bulak	Keş pınarı
15	Yörük	Kırbağ büyükçukur
16	Yazıköy	Kirpe deresi
17	Yazıköy	Köy deresi
18	Bulak	Kulağıdoruğu
19	Bulak	Kuloğlu doruğu
20	Bulak	Mersin kıran
21	Bulak	Mesinkıran
22	Bulak	Otman pınarı
23	Bulak	Panayır deresi
24	Yazıköy	Pirce savağı
25	Bulak	Yaka bağ

KİRİGAMİ TEKNİĞİ VE ETKİNLİK TEMELLİ ÖĞRETİM YÖNTEMİNİN 8.SINIF DÖNÜŞÜM GEOMETRİSİ KONUSUNUN ÖĞRETİMİNE KATKISININ ÖĞRENCİ GÖRÜŞLERİNE DAYALI KARŞILAŞTIRILMASI

Büşra KAY
Kafkas University, Institute of Science, Master's Student in Mathematics Education, Kars, Türkiye
ORCİD :ID/ 0009-0007-4675-6662
Prof.Dr.Şükrü İLGÜN
Kafkas University, Dede Korkut of Faculty of Education, Master's Department of Mathematics Education, Kars, Türkiye
Assoc. Prof. Dr.Ali İbrahim Can GÖZÜM
Kafkas University, Dede Korkut of Faculty of Education, Department of Basic Education, Division of Early Childhood Education, Kars, Turkey
ORCİD :ID/ 0000-0002-7765-4403

Özet
Bu araştırmanın amacı, 8. sınıf dönüşüm geometrisi konusunun öğretiminde uygulanan kirigami (kâğıt katlama ve kesme) tekniği ile etkinlik temelli öğretim yöntemini öğrenci görüşlerine dayalı olarak karşılaştırmaktır. Bu araştırma, geometri öğretiminde soyut kavramların somutlaştırılmasında geleneksel yöntemlerin ötesine geçerek, etkinlik temelli öğrenme ile kirigami tekniğinin bütüncül bir yaklaşımla birlikte kullanımının potansiyelini ortaya koyması açısından önem taşımaktadır. Araştırma nitel araştırma yöntemlerinden durum çalışması deseninde yürütülmüştür. Çalışma grubunu, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde bir özel okulda öğrenim gören 10 tane 8. sınıf öğrencisi oluşturmaktadır. Araştırma 3 haftalık bir süreci kapsamaktadır. Araştırma kapsamında dönüşüm geometrisi konusu ile ilgili kazanımlar birinci ve ikinci haftalar etkinlik temelli öğretim yöntemi, üçüncü hafta ise kirigami (kâğıt katlama ve kesme) tekniği olacak şekilde uygulanmıştır. Uygulama sonunda veriler, araştırmacı tarafından geliştirilen yarı yapılandırılmış görüşme formu aracılığıyla toplanmıştır. Araştırma sonunda toplanan veriler içerik analizi yöntemiyle analiz edilmiştir. Araştırma bulgularına göre öğrenciler, konuyu daha iyi anlama, eğlenceli öğrenme ve deneyimleyerek öğrenme açısından etkinlik temelli öğrenme yöntemini daha etkili bulurken; becerilere katkı, konuyu daha iyi pekiştirme ve kağıt kesme katlama ile disiplinler arası ilişki kurma açısından kirigami öğretim tekniğini tercih etmişlerdir. Etkinlik temelli öğretim yönteminde eğlenceli bir öğrenme deneyimi sunulması, öğretici bulunması, güdüleyici bir ortam oluşturulması ve rekabet unsurunun derse ilgiyi artırması öne çıkmıştır. Kirigami öğretim tekniğinde ise konunun daha iyi pekiştirilmesi ve şekil oluşturma becerilerinin desteklenmesi belirginleşen başlıca katkılar olarak dikkat çekmiştir.Araştırma sonuçları, geometri öğretiminde etkinlik temelli öğretim ile kirigami tekniğinin birlikte ve bütüncül bir yaklaşımla kullanılmasının öğrencilerin derse yönelik ilgi ve motivasyonunu artırdığını ve öğrenme süreçlerini olumlu yönde etkilediğini göstermektedir. Bu doğrultuda, bu yöntem ve tekniğin birlikte kullanılmasının öğrencilerin bilişsel ve duyuşsal gelişimlerine katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.

Anahtar Kelimeler: Etkinlik temelli öğretim, kirigami tekniği, geometri öğretimi, dönüşüm geometrisi, öğrenci görüşleri

A COMPARISON OF THE CONTRIBUTION OF KIRIGAMI TECHNIQUE AND ACTIVITY-BASED TEACHING METHOD TO THE TEACHING OF TRANSFORMATION GEOMETRY IN 8TH GRADE, BASED ON STUDENT OPINIONS

Abstract

The purpose of this study is to compare the kirigami (paper folding and cutting) technique and the activity-based teaching method applied in the teaching of the 8th-grade transformational geometry topic, based on student opinions. This study is significant in that it goes beyond traditional methods in concretizing abstract concepts in geometry teaching and reveals the potential of using activity-based learning and the kirigami technique together with a holistic approach. The study was conducted using the case study design, one of the qualitative research methods. The study group consists of 10 eighth-grade students attending a private school in the Eastern Anatolia Region of Turkey. The research spans a 3-week period. Within the scope of the study, the learning outcomes related to transformational geometry were implemented using the activity-based teaching method in the first and second weeks, and the kirigami (paper folding and cutting) technique in the third week. At the end of the implementation, data were collected through a semi-structured interview form developed by the researcher. The data collected at the end of the study were analyzed using the content analysis method.According to the research findings, students found the activity-based learning method more effective in terms of better understanding the topic, fun learning, and learning by experiencing. On the other hand, they preferred the kirigami teaching technique in terms of contributing to skills, better reinforcing the topic, and establishing interdisciplinary connections through paper cutting and folding. In the activity-based teaching method, providing a fun learning experience, being instructive, creating a motivating environment, and the element of competition increasing interest in the lesson stood out. In the kirigami teaching technique, the primary contributions that became prominent were better reinforcement of the topic and the support of shape-formation skills. The research results indicate that using activity-based teaching and the kirigami technique together with a holistic approach in geometry teaching increases students' interest and motivation towards the lesson and positively affects their learning processes. Accordingly, it is anticipated that using this method and technique together could contribute to students' cognitive and affective development.

Keywords: Activity-based teaching, kirigami technique, geometry teaching, transformational geometry, student opinions

GİRİŞ

Geometri, matematiğin önemli bir öğrenme alanıdır ve ilköğretim matematiğinde önemli bir yer tutar. Geometri öğrenme alanında diğer alanlarda olduğu gibi önemli değişiklikler yapılmıştır. Geometri öğrenme alanında yeni olan alt öğrenme alanları; dönüşüm geometrisi, iz düşüm, örüntü ve süslemelerdir. Bu alt öğrenme alanlarına yeni giren kavramlar, öteleme, yansıma, dönme, örüntü, süsleme ve perspektiftir (MEB, 2009). Nesneleri birbirine dönüştürme, şekilleri farklı açılardan tanıyabilme, hareket ettirme dönüşüm geometrisinin konuları olan öteleme, yansıma ve dönme hareketleri kullanılarak yapılır.

Bir cismin veya şeklin ötelenmesi, onun sadece konumunu değiştirerek döndürülmeden veya yansıtılmadan hareket ettirilmesidir. Her ötelemenin bir uzaklığı ve yönü bulunmaktadır. Yansıma ise geometrik şeklin bir eksene göre alt üst edilmesi ile gerçekleşir. Şeklin yeni görünümü ilk şeklin aynadaki yansıması gibidir. Bütün bu tanımlanan ifadeler öğretim programına yeni eklenen dönüşüm geometrisi konusunun alt başlıklarıdır (Mathforum, 2013).

Geometri öğretiminin gözleme ve sezgiye dayalı olması gerektiği düşünüldüğünde görsel ve

somut araç-gereçleri içeren etkinliklere aynı oranda yer verilmelidir. Etkinlikler düzenlenirken grup içinde etkileşime önem verilmeli, etki ve sonuçları önceden iyi bilinmelidir. Ayrıca etkinlikler öngörülen öğrenme ve düşünce düzeylerine uygun olmalıdır (Develi ve Orbay, 2003). Matematiksel kavramların öğretiminde de somut materyallerin kullanıldığı etkinlikler yaptırılmalıdır. Çünkü soyut yapısından ve öğrencilerin yaşlarından dolayı matematik ve geometri ile ilgili kavramların anlaşılabilmesi oldukça güçtür (MEB, 2009).Etkinlik temelli öğretimde bireylerin kendi etkinlik ve gözlemlerinden yola çıkarak sonuca ulaşması beklenir; öğrencilerin akıl yürütme ve problem çözme becerileri, ilgi çekici etkinlikler yoluyla desteklenir ve bilgiye kendilerinin ulaşabilecekleri ortamlar hazırlanır (Mert Cüce, 2012). Etkinlik temelli öğretimde origami, somut materyal ve oyun gibi farklı etkinlikler kullanılabilir. Öğrenci merkezli bir uygulama olan origami, yapılandırmacı eğitim anlayışıyla örtüşmektedir. Öğrenciler origami ürününü oluştururken belirli bir hedefe yönelir; öğretmen de süreç boyunca bu hedefe yönelik sorularla öğrenmeyi destekler (Şimşek, 2012). Origami yapıştırma ve kesme işlemleri olmadan sadece katlama becerisinin kullanıldığı bir çeşit kâğıt katlama sanatıdır. Origami Japonca bir kelime olup, katlanmış kâğıt anlamına gelir. Günümüzde origaminin birçok değişik türleri de ortaya çıkmıştır. Mimari origami, pop-up origami, kirigami (kağıt kesme sanatı) bunlara örnek verilebilir (Tuğrul ve Kavici, 2002, 3).

Kirigami, kesmek (kiru) ve kâğıt (kami) sözcüklerinin birleşiminden meydana gelmiş olup, kağıda keserek şekil verme sanatıdır. Japonya'da ilkokul müfredatında yer alan bir uygulamadır. Bu uygulama, öğrencilere Japon kültürünü tanıtırken gelişimlerini destekler; yaparak yaşayarak öğrenmeye olanak sağlayıp el-göz koordinasyonu, ince motor becerileri ve takım çalışmasını geliştirir (Armağan, 2022). Kirigami yalnızca bir sanat etkinliği değil, aynı zamanda öğretici bir tekniktir. Okullarda el-göz koordinasyonunu, üç boyutlu düşünme, planlama ve hayal gücünü geliştirmek amacıyla kullanılır. Bu süreçte öğrenciler kare, üçgen, dikdörtgen, simetri, açı ve örüntü gibi birçok matematiksel kavramı doğrudan deneyimler; böylece soyut konular somutlaşır. Grup hâlinde yapılan kirigami etkinlikleri de etkileşimli ve uygulamalı bir öğrenme ortamı sunar (Akyol, 2025). Alan yazında dönüşüm geometrisi öğretimine yönelik farklı materyal ve tekniklerin ayrı ayrı incelendiği çalışmalar bulunmakla birlikte, etkinlik temelli öğrenme ile kirigami tekniğinin etkililiğini doğrudan karşılaştıran ve bu iki yaklaşımın bütüncül sentezine odaklanan çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Bu araştırma ile geometri öğretiminde soyut kavramların somutlaştırılmasında geleneksel yöntemlerin ötesine geçerek, etkinlik temelli öğrenme ile kirigami tekniğinin bütüncül bir yaklaşımla birlikte kullanımının potansiyelini ortaya koyması amaçlanmaktadır.

YÖNTEM

Araştırma Deseni

Araştırma, nitel araştırma yaklaşımlarından durum çalışması deseniyle yürütülmüştür. Bu desen, ele alınan öğretim sürecinin kendi doğal bağlamı içinde çok yönlü, derinlemesine ve bütüncül biçimde incelenmesine olanak sağlamaktadır. Bu nedenle çalışmada, uygulama sürecinin ayrıntılı olarak analiz edilebilmesi için durum çalışması tercih edilmiştir.

Araştırmada, etkinlik temelli öğrenme yöntemi ile kirigami tekniğinin 8. sınıf matematik dersindeki dönüşüm geometrisi konusuna etkisi, öğrenci görüşleri temel alınarak karşılaştırılmıştır.

Çalışma kapsamında aynı öğrenci grubuna her iki öğretim modeli farklı haftalarda uygulanmış; böylece öğrencilerin her iki yönteme ilişkin deneyimleri doğrudan karşılaştırılabilir hâle getirilmiştir.

Çalışma Grubu

Araştırmanın çalışma grubunu, 2025-2026 eğitim-öğretim yılında Doğu Anadolu Bölgesi'nde

özel bir etüt merkezinde öğrenim gören 8.sınıf düzeyindeki 10 öğrenci oluşturmaktadır. Amaçlı örnekleme yöntemlerinden kolay ulaşılabilir örneklem ile çalışma grubu belirlenmiştir. Öğrenciler araştırmaya gönüllü olarak katılmış olup araştırma sürecinde her iki öğretim modelini de deneyimleme fırsatı bulmuştur.

Uygulama Süreci

Araştırma süreci toplam üç haftada gerçekleştirilmiştir. Dönüşüm geometrisi konusuna ait 3 kazanım bir öğretim yöntemi ve bir teknik ile işlenmiştir. Dönüşüm geometrisi konusuyla ilgili uygulamanın gerçekleştirildiği kazanımlar

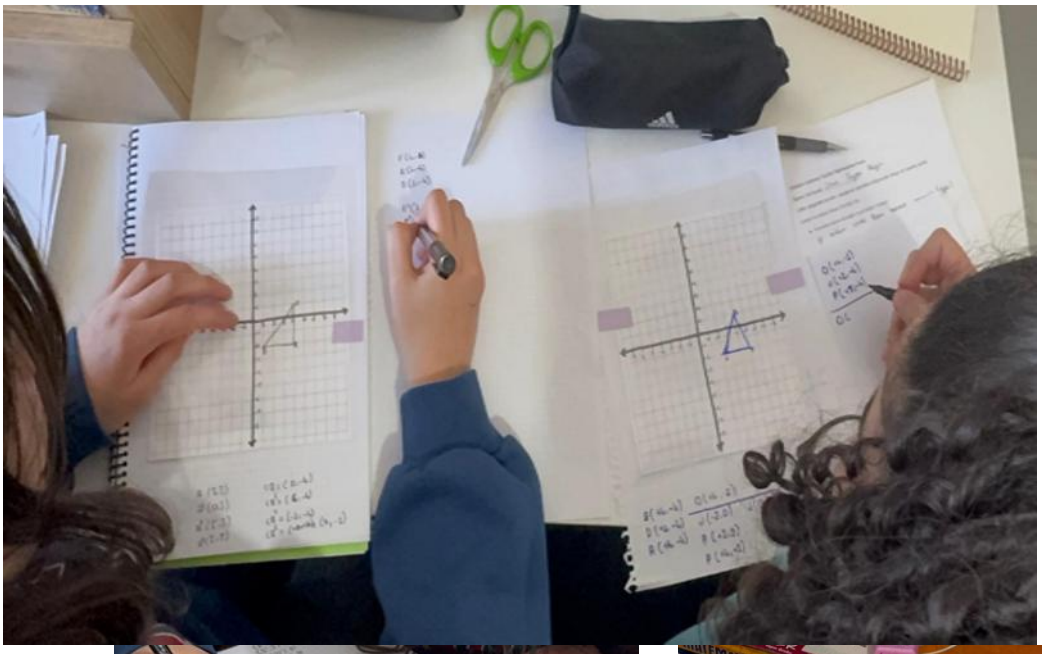
- Nokta, doğru parçası ve diğer şekillerin öteleme sonucundaki görüntülerini çizer.
- Nokta, doğru parçası ve diğer şekillerin yansıma sonucundaki görüntülerini çizer.
- Çokgenlerin öteleme ve yansımalar sonucunda ortaya çıkan görüntüsünü oluşturur.

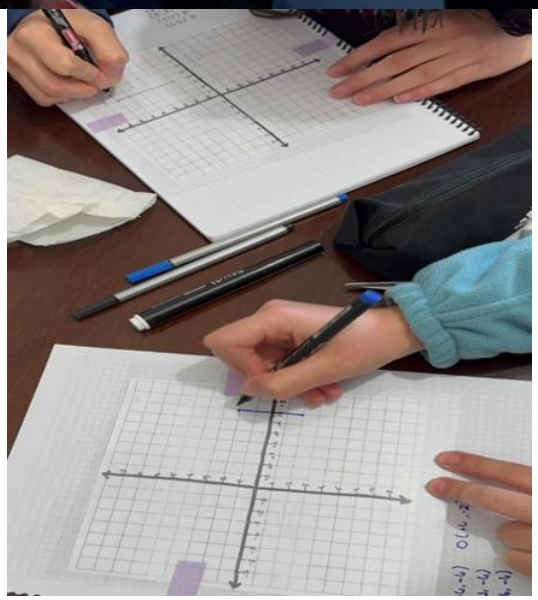
1. Hafta Uygulaması: Asetatla Koordinat İzleme

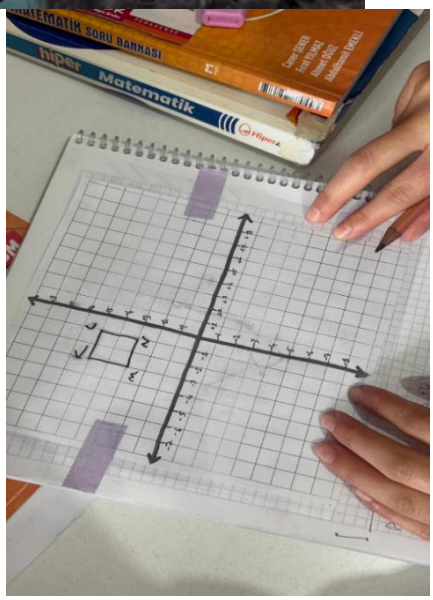
Birinci haftada “nokta ve doğru parçasının öteleme sonucundaki görüntülerini çizer" kazanımı etkinlik temelli öğretim yöntemi ile işlenmiştir. Öğretmen tarafından sürece önce ötelemenin günlük hayattaki anlamı üzerine bir beyin fırtınası gerçekleştirilmiştir. Sürecin başında öğrencilere "öteleme dendiğinde aklınıza ne geliyor?" ve "bir eşyayı ötelediğimizde şekli veya yönü değişir mi?" gibi sorular yöneltilerek kavramsal giriş yapılmıştır. Bir nesneyi sağa, sola, yukarı veya aşağı hareket ettirmenin sadece konumunu değiştirdiği, ancak nesnenin kendisini değiştirmediği vurgulanmıştır. Sonrasında koordinat sisteminde ötelemeye geçiş yapılarak “bir noktayı koordinat düzleminde ötelediğimizde adresi nasıl değişir?" sorusuyla öğrencilerin aktif katılımı sağlanarak keşif sürecine geçilmiştir. Öğretmen tarafından öğrencilere şeffaf asetat kâğıtları, koordinat ekseni kartları ve silinebilir asetat kalemleri hazırlanmıştır. Öğrencilerin her birine asetat kâğıtları ve koordinat ekseni kartları dağıtılmıştır. Ardından "nokta öteleme" etkinliği gerçekleştirilmiştir. Öğrenciler asetat kâğıtlarına bir nokta koymuş ve bu noktanın koordinatlarını defterlerine not etmişlerdir. Öğretmenin komutuyla öğrenciler asetatlarını sağa 3 birim öteleyip yeni noktanın koordinatlarını defterlerine not etmişlerdir. Sonrasında asetatı eski konumuna getirerek asetatlarını sola 2 birim ötelemişlerdir.

Asetatı sağa 3 birim ötelediklerinde apsis değerinin 3 birim arttığını, ordinat değerinin sabit kaldığını; Asetatı sola 2 birim ötelediklerinde apsis değerinin 2 birim azaldığını, ordinat değerinin sabit kaldığını yaparak ve yaşayarak gözlemlemişlerdir. Daha sonra kazanım doğrultusunda "doğru parçası öteleme" etkinliği gerçekleştirilmiştir. Öğrenciler asetatlarına bir doğru parçası çizmiş ve doğru parçasının noktalarının koordinatlarını defterlerine not etmişlerdir. Öğretmen tarafından verilen komutlar doğrultusunda asetatlarını düzlem üzerinde 2 birim sağa ötelemişlerdir.

Bu süreçte yeni koordinatlar not edilerek doğru parçası üzerindeki noktaların apsis değerlerinin 2 birim arttığı, ordinat değerlerinin sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Etkinlik sırasında yapılan kritik tartışmalarla, öteleme sonucunda şeklin boyunun ve eğiminin değişmediği, sadece konumunun değiştiği vurgulanmıştır. Öğrenilenlerin pekiştirilmesi amacıyla "Hata Ayıklama" oyunu oynanmıştır. Öğretmen tahtaya koordinat sistemi üzerinde hatalı ötelemeli işlemler çizmiş, öğrencilerden asetatlarını kullanarak bu hatayı görsel olarak kanıtlamaları istenmiştir. Bu oyunla öğrencilerin koordinat hesaplama becerileri eğlenceli bir ortamda test edilmiştir. Sağa ve sola öteleme hareketlerinin koordinatlar üzerindeki matematiksel etkisi özetlenmiştir. Öğretmen derste anlaşılmayan kısım olup olmadığını sormuş ardından çalışma kağıtları ile bol soru çözümü gerçekleştirmiştir.





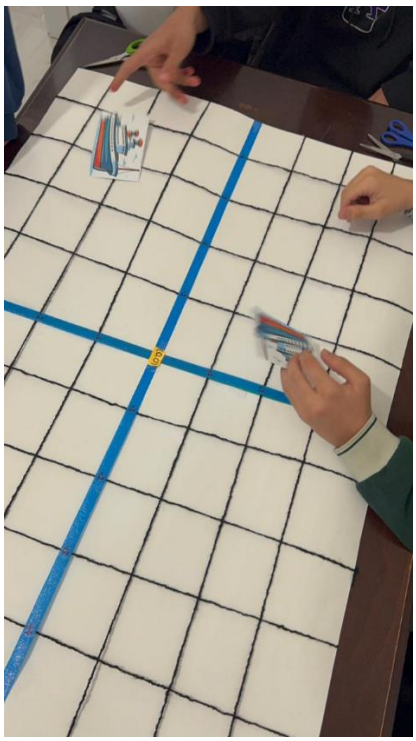


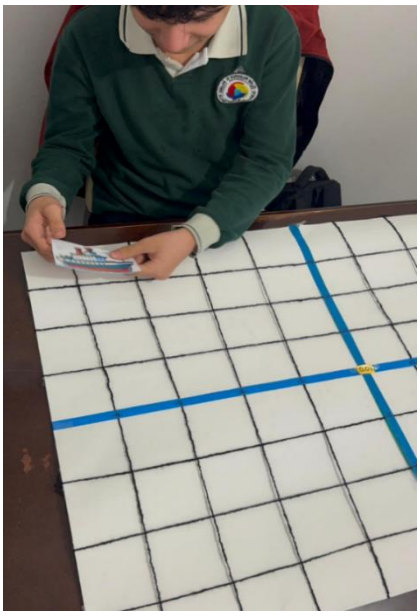
2. Hafta Uygulaması: Koordinat Avcıları

İkinci haftada "nokta ve doğru parçasının yansıma altındaki görüntüsünü çizer" kazanımı etkinlik temelli öğretim yöntemi ile işlenmiştir. Öğretmen tarafından sürece önce ötelemenin günlük hayattaki anlamı üzerine bir beyin fırtınası gerçekleştirilmiştir. Sürecin başında öğrencilere "aynaya baktığınızda kendinizi nasıl görürsünüz?", "sağ elinizi kaldırdığınızda aynadaki görüntünüz hangi elini kaldırır?" gibi sorular yöneltilerek yansımanın en temel özelliği olan yön değiştirme kavramı üzerinde durulmuştur. Bir nesnenin yansıması alınırken eksene olan uzaklığının değişmediği, ancak görüntünün ters döndüğü vurgulanarak kavramsal altyapı oluşturulmuştur. Sonrasında koordinat sisteminde yansımaya geçiş yapılarak “bir noktayı koordinat düzleminde yansıttığımızda adresi nasıl değişir?" sorusuyla öğrencilerin aktif katılımı sağlanarak keşif sürecine geçilmiştir.

Öğretmen tarafından öğrencilere şeffaf asetat kâğıtları, koordinat ekseni kartları ve silinebilir asetat kalemleri hazırlanmıştır. Öğrencilerin her birine asetat kâğıtları ve koordinat ekseni

kartları dağıtılmıştır. Ardından "nokta yansıma" etkinliği gerçekleştirilmiştir. Öğrenciler asetat kâğıtlarına bir nokta koymuş ve bu noktanın koordinatlarını defterlerine not etmişlerdir. Öğretmen öğrencilere bu aşamada "y eksenine göre yansıma" görevi vermiştir. Asetat kağıdını katlamadan, sadece belirlenen eksen boyunca kendi etrafında ters çevrilmesi (yüzünün arkaya gelmesi) istenmiştir. Öğrenciler yeni koordinatları defterlerine not etmiştir. Sonrasında öğretmen asetatı eski konumuna getirerek "x eksenine göre yansıma" görevi vermiştir.
Noktayı y eksenine göre yansıttıklarında apsisin işaretinin değiştiğini, ordinat değerinin sabit kaldığını; noktayı x eksenine göre yansıttığında ordinat değerinin işaretinin değiştiğini, apsis değerinin sabit kaldığını yaparak ve yaşayarak gözlemlemişlerdir.
Kazanım doğrultusunda “doğru parçası yansıma" etkinliği gerçekleştirilmiştir. Öğrenciler asetatlarına bir doğru parçası çizmiş ve doğru parçasının noktalarının koordinatlarını defterlerine not etmişlerdir. Öğretmen tarafından verilen komutlarla asetatlarını belirlenen eksen boyunca katlamadan, sadece kendi ekseni etrafında ters çevirmişlerdir. Öğrenciler, yansıma sonucunda hangi koordinatın işaret değiştiğini ve hangisinin sabit kaldığını asetat kâğıdı üzerinde yaparak keşfetmişlerdir.
Daha sonra öğrenilenlerin pekiştirilmesi ve eğlenceli bir ortamda tekrar edilmesi amacıyla "Koordinat Amiral Battı" oyunu oynanmıştır. Öğrenciler iki takıma ayrılarak koordinat düzlemi üzerine bir noktayı temsil edecek şekilde gemiyi yerleştirmişlerdir. Takımların birbirine yansıma ve öteleme temelli sorular sormasıyla, örneğin: "bu gemi x eksenine göre yansırsa nereye düşer?" oyun ilerlemiş; doğru koordinatı bulan doğru yanıt verenler gemiyi kurtarmış, yanlış yanıt verenler ise gemiyi batırmış sayılmıştır. Etkinliğin sonunda öğretmen, ötelemede apsis ve ordinat değerlerinin artıp azaldığını yansımada ise apsis ve ordinatın işaretlerinin değiştiği farkını vurgulamıştır.



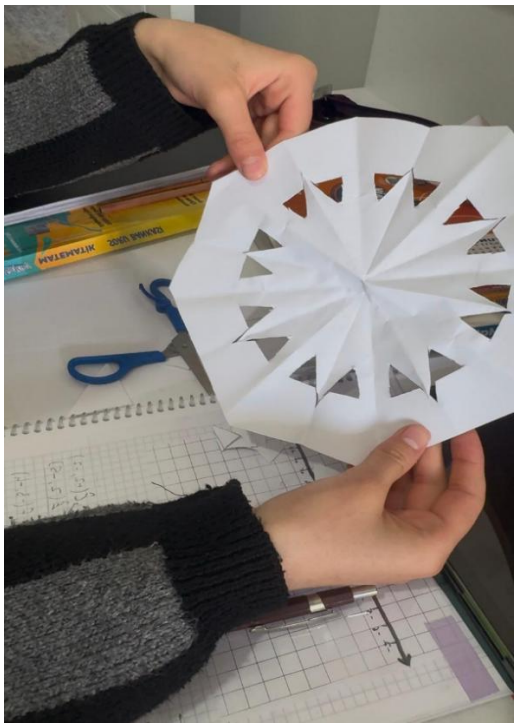
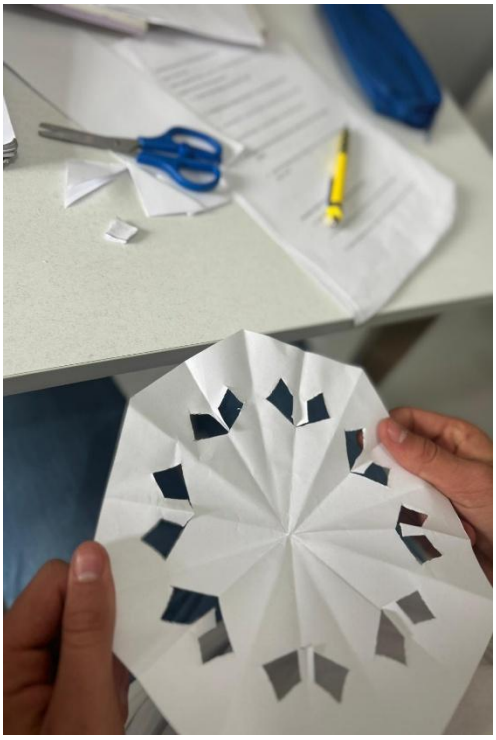


3. Hafta Uygulaması: Dönüşen Çokgenler Atölyesi

Üçüncü haftada "çokgenlerin öteleme ve yansımalar sonucunda ortaya çıkan görüntüsünü oluşturur" kazanımı etkinlik temelli öğretim yöntemi ve kirigami tekniği ile işlenmiştir. Kazanım doğrultusunda ilk olarak "çokgenler ile ardışık dönüşüm" etkinliği gerçekleştirilmiştir. Öğrenciler önce asetat kâğıtlarına üçgen veya dikdörtgen gibi çokgenler çizmiştir. Öğretmenin "önce x eksenine göre yansıt, sonra 4 birim sağa ötele" komutuyla öğrenciler, asetatı önce x ekseni boyunca yansıtmış, ardından aynı kâğıdı sağa doğru ötelemişlerdir. Öğrenciler tahtaya yazılan ardışık dönüşümleri asetat üzerinde bol örnek uygulama yaparak çokgenlerde ardışık öteleme ve yansıma hareketlerini pekiştirmiştir. Süreçte öğrenciler, dönüşüm sırasının değişmesinin son görüntüyü nasıl etkilediğini gözlemlemiştir.

Daha sonra öğrencilerin kazanımı anlamlandırması ve görselleştirmesi amacıyla "kirigami ile dönüşüm sanatı" uygulamasına geçilmiştir. Öğrencilere A4 kâğıtları dağıtılmıştır. Öğretmen tarafından kâğıt katlama adımları gösterilmiştir. Katlı köşeden bir çokgen kesip çıkaran öğrenciler kâğıdı açtıklarında, oluşan desenin aslında matematiksel bir yansıma ve öteleme sonucu olduğunu fark etmişlerdir. Kesilen çokgenin diğer bölgelerdeki görüntülerinin birer yansıma görüntüsü olduğu, şeklin bütünsel yapısının ise dönüşüm geometrisinin estetik bir yansıması olduğunu öğrenciler gözlemlemiştir. Öğretmen çokgenlerin dönüşüm altındaki görüntüleriyle ilgili ötelemeli yansıma hareketini özetlemiştir. Dersin sonunda derste anlaşılmayan kısım olup olmadığını sormuş ardından çalışma kağıtları ile bol soru çözümü gerçekleştirmiştir.

Üç haftalık uygulama sürecinde dersler aynı öğretmen tarafından yürütülmüştür. Etkinlik temelli öğretim yöntemine 2 hafta süre, kirigami öğretim tekniğine 1 hafta süre verilmiştir.

Veri Toplama Süreci

Araştırmada veri toplama aracı olarak yarı yapılandırılmış öğrenci görüşme formu kullanılmıştır. Görüşme formu, her iki öğretim modeline yönelik öğrencilerin

- Kavramsal anlamalarını farklılaştırma düzeyini
- Konuyu anlamadaki etkisini
- Olumlu ve zorlayıcı yönlerini
- Fazla ve eksik kalan kısımları
- Hangi öğretim modelinin daha etkili ve kalıcı olduğu gibi öğretim modellerini karşılaştırmaya yönelik

sorulardan oluşmaktadır. Görüşme sorularının kapsam geçerliği, alanında uzman iki akademisyenin görüşleri doğrultusunda değerlendirilmiş ve gerekli düzenlemeler yapılmıştır.

Verilerin Toplanması

Veriler, uygulama sürecinin tamamlandıktan sonra öğrencilerle gerçekleştirilen görüşmeler aracılığıyla toplanmıştır. Görüşmeler sırasında elde edilen veriler yazılı olarak kaydedilmiştir.

Verilerin Analizi

Araştırmada elde edilen veriler, nitel veri analiz tekniklerinden içerik analizi kullanılarak çözümlenmiştir. Bu süreçte görüşmelerden elde edilen öğrenci yanıtları önce yazılı hâle getirilmiş, ardından ayrıntılı biçimde incelenmiştir. Öğrenci ifadeleri, araştırmacı ile alan uzmanı tarafından bağımsız olarak kodlanmıştır. Ardından yapılan karşılaştırmalar sonucunda ortak bir kod listesi oluşturulmuş ve bu kodlar benzerlik ve farklılıklarına göre kategoriler altında toplanmıştır. Bu doğrultuda öğrenci görüşleri; etkinlik temelli öğretim yöntemi, kirigami tekniği ve her ikisinin karşılaştırılması olmak üzere üç ana çerçevede ele alınmıştır.

Araştırmanın güvenirliğini sağlamak amacıyla Miles ve Huberman (1994) tarafından önerilen güvenirlik formülü kullanılmıştır. Araştırmacı ile uzman kodlamaları arasındaki uyum oranı %92,70 olarak hesaplanmış; bu sonucun kabul edilebilir bir güvenirlik düzeyine işaret ettiği değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, öğrencilerin görüşlerinden yapılan doğrudan alıntılarla desteklenmiş ve yorumlanmıştır. Böylece öğrencilerin dönüşüm geometrisi öğretimine ilişkin değerlendirmelerinin daha ayrıntılı, açık ve anlamlı biçimde ortaya konulması amaçlanmıştır.

BULGULAR

Öğrenci görüşme formlarının içerik analizi sonucunda elde edilen bulgular aşağıdaki tablolarda yer almaktadır.

Tablo 1: Öğrencilerin Etkinlik Temelli Öğrenme Yöntemine Yönelik Görüşleri

Kategori	Kod	f	%	Katılımcılar	Öğrenci İfadesi
Öğrenme Sürecine Katkı	Konuyu daha iyi öğrenme	7	70	Ö1,Ö3,Ö4,Ö6,Ö7,Ö8 ,Ö10	"Çok iyiydi öğreticiydi." (Ö4)
	Eğlenceli öğrenme deneyimi	7	70	Ö2,Ö3,Ö6,Ö7,Ö8,Ö9 ,Ö10	"Çok eğlenceli buldum. Çok iyi anladım." (Ö2)
	Deneyimleyerek öğrenme	2	20	Ö8,Ö10	"Öğretici, eğlenceli kendim noktalar oluşturdum çünkü." (Ö8)
	Kalıcı öğrenme	1	10	Ö6	"Konuyu hiç unutmam artık." (Ö6)
Sosyal Etkileşim	Güdüleyici öğrenme ortamı	2	20	Ö5,Ö9	"İyi buldum, Büşra hocamızla etkinlik yapmak hep güzel." (Ö5)
	Rekabet	4	40	Ö6,Ö7,Ö8,Ö10	"Karşı takımları yendik." (Ö10)
Duyuşsal Tepkiler	Dersten memnuniyet	2	20	Ö4,Ö9	"Çok iyiydi çünkü eğlenceliydi ve hocamız yanımızdaydı." (Ö9)
Becerilere Katkı	Çizim becerisi	3	30	Ö2,Ö5,Ö9	"Çizgi çizmekte geliştirdim." (Ö9)
	Koordinat kullanma becerisi	5	50	Ö2,Ö3,Ö4,Ö8,Ö9	"Koordinat materyalinde noktaları hareket ettirme yeteneğimi geliştirdim." (Ö4)
Yaşanılan Zorluklar	Çizgi çizme	3	30	Ö1,Ö6,Ö9	"Doğru parçasını çizerken zorlandım."(Ö1)

Tablo 1 incelendiğinde öğrencilerin etkinlik temelli öğretim yöntemine ilişkin görüşlerinin öğrenme sürecine katkı, sosyal etkileşim, duyuşsal tepkiler, becerilere katkı ve yaşanılan

zorluklar kategorileri altında yoğunlaştığı görülmektedir. Öğrenciler uygulanan yöntemin konuyu daha iyi öğrenme, eğlenceli öğrenme deneyimi, deneyimleyerek öğrenme ve kalıcı öğrenme sağlama özelliklerinden ötürü konuyu derinlemesine ve kalıcı şekilde kavradıklarından bahsetmişlerdir. Aynı zamanda güdüleyici bir öğrenme ortamı oluştuğuna, süreçteki rekabet unsurunun derse katılım isteğini ve motivasyonu artırdığına değinmişlerdir. Yöntemin dersten memnuniyet düzeylerini olumlu yönde etkilemesiyle birlikte koordinat kullanma ve çizim becerilerinin gelişimine sağladığı katkılardan da bahsetmişlerdir. Bunların yanı sıra bazı öğrenciler etkinlik esnasında çizgi çizme boyutunda karşılaştıkları teknik zorluklara da dikkat çekmiştir.

Tablo 2: Öğrencilerin Kirigami Öğrenme Tekniğine Yönelik Görüşleri

Kategori	Kod	f	%	Katılımcılar	Örnek Öğrenci İfadesi
Becerilere Katkı	Şekil oluşturma becerisi	8	80	Ö1,Ö2,Ö3,Ö5 Ö6,Ö7,Ö8, Ö10	"Şekiller hoşuma gitti, şekil oluşturma becerilerime bir şeyler kattı." (Ö8)
	Makas kullanma becerisi	7	70	Ö1,Ö2,Ö3,Ö4, Ö5,Ö7,Ö9	"Kâğıt kesme ve katlama becerimi geliştirdi." (Ö9)
Disiplinler Arası İlişki	Görsel sanatlar dersiyle ilişki kurma	4	40	Ö1,Ö3,Ö4,Ö5	"Kesme katlama yaparken görsel sanatlar dersinde kullanırım." (Ö4)
Öğrenmeye Katkı	Konuyu pekiştirme	8	80	Ö1,Ö2,Ö4,Ö5, Ö6,Ö7,Ö9, Ö10	"Ard arda öteleme ve yansıma yapmayı, çokgenleri peş peşe ötelemeyi." (Ö1)
	Konuyu daha iyi öğrenme	2	20	Ö7,Ö8	"Çok güzeldi. Çünkü eğiticiydi." (Ö7)
Yaşanılan Zorluklar	Kağıt kesme	7	70	Ö1,Ö3,Ö4,Ö5, Ö6,Ö7,Ö9	"Katlama kesme kısımları biraz zor." (Ö5)

Tablo 2 incelendiğinde öğrencilerin kirigami öğrenme tekniğine ilişkin görüşlerinin becerilere katkı, disiplinler arası ilişki, öğrenmeye katkı ve yaşanılan zorluklar kategorileri altında yoğunlaştığı görülmektedir. Öğrenciler uygulanan tekniğin şekil oluşturma ve makas kullanma becerilerinin gelişimine sağladığı katkılardan bahsetmişlerdir. Aynı zamanda kesme ve katlama süreçleri üzerinden görsel sanatlar dersiyle ilişki kurabildiklerine değinmişlerdir. Yöntemin ardışık öteleme, yansıma ve çokgenleri peş peşe öteleme gibi konuları pekiştirme ile konuyu daha iyi öğrenme süreçlerine olan olumlu etkilerini vurgulamışlardır. Bunların yanı sıra bazı öğrenciler, kirigami uygulaması esnasında özellikle kağıt kesme ve katlama aşamalarında karşılaştıkları fiziksel/teknik zorluklara da dikkat çekmiştir.

Tablo 3: Öğrencilerin Etkinlik Temelli Öğrenme Yöntemi ve Kirigami Öğrenme Tekniğine Yönelik Karşılaştırmalı Görüşleri

Karşılaştırma Boyutu	Etkinlik Temelli Öğrenme (f)	%	Gerekçeler	Kirigami Yöntemi İle Öğrenme (f)	%	Gerekçeler
Konuyu daha etkili öğrenme /Kalıcılık	8	80	Eğlenerek öğrenme, Noktalar arası değişim yapabilme	2	20	Oluşan şeklin güzel olması, çokgenleri aynı anda öteleme ve yansıma, farklı şekiller ortaya çıkarma
Yaşanılan zorluklar	3	30	Doğru parçası çizim yapmada zorluk yaşama	7	70	Kağıt katlama ve kesmede zorluk yaşama

Tablo 3 incelendiğinde, öğrencilerin etkinlik temelli öğrenme ve kirigami tekniğiyle öğrenme süreçlerine ilişkin görüşlerinin konuyu daha etkili öğrenme, kalıcılık ve yaşanılan zorluklar karşılaştırma boyutları altında şekillendiği görülmektedir. Konuyu daha etkili öğrenme ve kalıcılık boyutunda etkinlik temelli öğrenme yöntemi daha yüksek bir frekansla öne çıkarken, öğrenciler bu durumun gerekçesi olarak eğlenerek öğrenmeyi ve noktalar arası değişim yapabilme esnekliğini göstermişlerdir; aynı boyutta kirigami tekniğini tercih eden öğrenciler ise oluşan şeklin estetik açıdan güzel olmasını, çokgenleri aynı anda öteleme ve yansıtma ile farklı şekiller ortaya çıkarma imkanını gerekçe sunmuşlardır. Yaşanılan zorluklar boyutu ele alındığında ise kirigami tekniğinin daha yüksek bir frekansa sahip olduğu görülmüş ve öğrenciler bu yöntemde en çok kağıt katlama ve kesmede zorluk yaşadıklarını belirtmişlerdir; buna karşın etkinlik temelli öğrenme yönteminde nispeten daha az zorluk yaşandığı ve bu zorlukların genel olarak doğru parçası çizimi yapma noktasında yoğunlaştığı dikkat çekmektedir.

TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu araştırmada 8.sınıf dönüşüm geometrisi konusunun öğretiminde uygulanan etkinlik temelli öğrenme yöntemi ile kirigami tekniğinin öğretim süreçlerine katkısı, öğrenci görüşlerine dayalı olarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular, her iki öğretim yönteminin öğrencilerin öğrenmelerine katkılarını ortaya koymaktadır.

Araştırma bulgularına göre öğrenciler, konuyu daha iyi anlama, eğlenceli öğrenme, deneyimleyerek öğrenme ve sosyal etkileşim açısından etkinlik temelli öğrenme yöntemini daha etkili bulmuştur. Öğrencilerin bu değerlendirmesinde, etkinlik temelli öğrenmenin eğlenceli bir deneyim sunması, kalıcı öğrenmeyi desteklemesi ve konunun daha derinlemesine kavranmasına katkı sağlaması belirleyici olmuştur. Ayrıca güdüleyici öğrenme ortamı ve süreçte yer alan rekabet unsuru, öğrencilerin derse katılım isteğini ve motivasyonunu artırmıştır. Etkinlik temelli öğrenme, öğrencilerin pasif dinleyiciler olarak kalmak yerine öğrenme sürecine aktif biçimde katıldığı bir yaklaşım olarak tanımlanmaktadır (Kavak, 2020). Etkinliğe dayalı öğrenme, etkili öğrenci-öğretmen etkileşimine dayanır. Bu öğrenme süreci, öğrenciyi sorgulamaya, keşfetmeye, deney yapmaya, iş birliği yapmaya ve öğrenmenin keyfini yaşamaya yönlendirir (Keengwe, Onchwari ve Onchwari, 2009). Birçok araştırma, etkinlik temelli öğrenme yönteminin özellikle sınıf içi uygulamalarda öğrencilerin bireysel ya da takım hâlinde sürece aktif katılım göstermelerini desteklediğini ortaya koymaktadır (Suydam ve Higgins,1997; Açıkgöz, 2003; Köstereliоğlu, Bayar ve Köstereliоğlu, 2014). Genel olarak etkinlik temelli öğrenme yöntemine yönelik öğrenci görüşlerinin olumlu olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, yöntemin sınırlı yönlerinden biri olarak bazı öğrencilerin çizgi çizme sırasında zorlandığı da belirtilmiştir.

Öğrencilerin becerilere katkı, konuyu daha iyi pekiştirme ve kağıt kesme katlama ile disiplinler arası ilişki kurma açısından kirigami tekniğini tercih ettikleri görülmüştür. Öğrenciler genel olarak kirigami öğrenme tekniğini konuyu daha iyi öğrenmeleri ve şekil oluşturma becerilerine etkilerini olumlu bulmuşlardır. Alanyazında, origami ve kirigami gibi katlama ve kesme temelli uygulamaların özellikle geometri öğretiminde öğretmenler tarafından daha sık kullanılmasının yararlı olduğu vurgulanmaktadır (Boz, 2015; Duatepe-Paksu, 2016). Kâğıt katlamanın sınıf ortamında etkili biçimde kullanılması, öğretim sürecine birçok açıdan katkı sağlayabilir. Özellikle uygun konularda kavramsal öğrenmeyi destekleyen bu yöntem, öğrencilerin yalnızca konuya değil, derse yönelik motivasyonlarını da artırabilmektedir (Robichaux & Rodrigue, 2003).

Bulgular, etkinlik temelli öğrenme yönteminin öğrenme etkililiği açısından daha güçlü bir biçimde öne çıktığını; kirigami tekniğinin ise özellikle disiplinler arası ilişki kurma bakımından tercih edildiğini göstermektedir.

Bununla birlikte, her iki yöntemin de öğrencilerin öğrenme süreçlerine olumlu katkı sunduğu anlaşılmaktadır. Bu sonuçlardan hareketle, geometri öğretiminde farklı öğretim yaklaşımlarının bir arada ve bütüncül bir anlayışla kullanılmasının yararlı olacağı söylenebilir. Özellikle dönüşüm geometrisi gibi somutlaştırılması gereken konularda, farklı yöntemlerin birlikte kullanılması öğrencilerin hem duyuşsal hem de akademik gelişimlerini destekleyebilir.

ÖNERİLER

Araştırmadan elde edilen sonuçlar doğrultusunda;

- Geometri öğretiminde tek bir yönteme bağlı kalmak yerine, etkinlik temelli öğrenme ile kirigami tekniğinin birlikte ve dönüşümlü biçimde kullanılması yararlı olabilir. Soyut matematiksel kavramların dinamik yönünü görünür kılmak için etkinlik temelli uygulamalardan; görsel ve somut öğrenmeyi desteklemek için ise kirigami tekniği etkinliklerinden yararlanılması önerilmektedir. Bu iki yaklaşım, ardışık ya da bütünleştirilmiş biçimde planlanarak öğretim sürecine dâhil edilebilir.
- Öğrencilerin kirigami tekniği uygulamalarını görsel sanatlar dersiyle doğrudan ilişkilendirdikleri dikkate alındığında, matematik ve görsel sanatlar öğretmenlerinin ortak proje ve etkinlik havuzları geliştirmesi faydalı olabilir. Böyle bir iş birliği, hem disiplinler arası öğrenmeyi destekler hem de öğrencilerin konuyu farklı bağlamlarda anlamlandırmasına katkı sağlar.
- Gelecek araştırmalarda bu nitel bulgular; akademik başarı testleri, matematik kaygısı ölçekleri ve derse yönelik tutum ölçekleri gibi nicel veri toplama araçlarıyla desteklenebilir. Ayrıca farklı sınıf düzeylerinde ve çeşitli matematik konularında yapılacak çalışmalar, elde edilen sonuçların kapsamını genişletebilir ve genellenebilirliğini artırabilir.

KAYNAKÇA

Açıkgöz, K. (2003). Aktif öğrenme, *Eğitim Dünyası Yayınları, 5. Edition*, İzmir.

Akyol, H. (2025, 8 Eylül). *Kirigami ve matematik*. TÜBİTAK Bilim Genç. https://bilimgenc.tubitak.gov.tr/makale/kirigami-ve-matematik

Armağan, A. (2022, 6 Nisan). *Japonya'dan dünyaya yayılmış bir sanat: Kirigami*. Time Kocaeli. https://timekocaeli.com/kategoriler/kultur-sanat/japonyadan-dunyaya-yayilmis-bir-sanat-kirigami

Boz, B. (2015). İki Boyutlu Kağıtlardan Üç boyutlu Origami Küpüne Yolculuk. *Araştırma Temelli Etkinlik Dergisi (ATED), 5(1),* 20-33.

Develi, H.ve Orbay, K. (2003). İlköğretimde Niçin ve Nasıl Bir Geometri Öğretimi. *Millî Eğitim Dergisi. Sayı:157*. Ankara.

Duatepe-Paksu, A. (2016). Kâğıt katlama yöntemiyle dörtgenlerin incelenmesi. *Araştırma Temelli Etkinlik Dergisi (ATED), 6(2),* 80-88.

Kavak, Ş. (2020). STEM eğitimine dayalı etkinliklerin okul öncesi çocukların temel bilimsel süreç becerilerine etkisi. Yayımlanmamış Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi, Adana.

Keengwe, J., Onchwari, G., & Onchwari, J. (2009). Technology and student learning: Towards a learnercentered teaching model. *Association for the Advancement of Computing in Education, 17(1),* 11-22.

Köstereliоğlu, I., Bayar, A. ve Akin Köstereliоğlu, M. (2014). Öğretmen eğitiminde etkinlik temelli öğrenme süreci: bir durum araştırması. Electronic Turkish Studies, 9(2), 1035-1047.

Mathforum,(2013);The Four Types of Symmtery in the Plane, mathforum.org (Erişim Tarihi:10.06.2026).

Mert Cüce, A. P. (2012). Etkinlik Temelli Matematik Öğretimi Yapılan Sınıf Ortamından Yansımalar: Aksiyon Araştırması. Karadeniz Teknik Üniversitesi Eğitim Bilimleri Enstitüsü, Yayımlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.

MEB, Milli Eğitim Bakanlığı. (2009). İlköğretim matematik dersi (6–8 sınıflar) öğretim programı. Ankara: Milli Eğitim Bakanlığı.
Robichaux, R. & Rodrigue, P. (2003). Using origami to promote geometric communication. *Mathematics Teaching in the Middle School, 9(4*), 222-229.
Suydam, M. N. ve Higgins, J. L. (1977). Activity-Based Learning in Elementary School Mathematics: Eğitim Raporu, Center for Science and Mathematics Education The Ohio State University.
Şimşek, M. (2012). Geometrik cisimler konusunun origami destekli etkinlikler ile öğretiminin başarıya etkisi. Basılmış Yüksek Lisans Tezi, 19.
Tuğrul, Belma. ve Kavici, Mustafa. "Kağıt Katlama Sanatı Origami ve Öğrenme". *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi. 1/11 (2002):* 1-17.

HİKAYELEŞTİRME VE ETKİNLİK TEMELLİ ÖĞRETİM YÖNTEMLERİNİN 7. SINIF DÖRTGENLER KONUSUNUN ÖĞRETİMİNE KATKISININ ÖĞRENCİ GÖRÜŞLERİNE DAYALI KARŞILAŞTIRILMASI

Fatma ERDEN
Kafkas University, Institute of Science, Master's Student in Mathematics Education, Kars, Turkey
ORCİD ID: 0009-0003-5399-9938
Prof. Dr. Şükrü ÜLGÜN
Kafkas University, Dede Korkut Faculty of Education, Department of Mathematics Education, Kars, Turkey
ORCİD ID: 0000-0002-2842-2032
Assoc. Prof. Dr.Ali İbrahim Can GÖZÜM
Kafkas University, Dede Korkut Faculty of Education, Department of Basic Education, Division of Early Childhood Education, Kars, Turkey
ORCİD ID: 0000-0002-7765-4403

Özet
Bu çalışma, 7. sınıf dörtgenler konusunun öğretiminde uygulanan hikâyeleştirme ve etkinlik temelli öğretim yöntemlerini öğrenci görüşlerine dayalı olarak karşılaştırmayı amaçlamaktadır. Literatürde çoğunlukla ayrı ayrı ele alınan hikâyeleştirme ve etkinlik temelli öğretim yöntemleri, bu çalışmada aynı öğrenci grubu üzerinde ardışık olarak uygulanarak her iki yöntemin geometrik kavramları öğrenme sürecindeki etkileri öğrenci deneyimleri üzerinden doğrudan karşılaştırılmıştır. Araştırmada nitel araştırma yöntemlerinden durum çalışması deseni kullanılmıştır. Çalışma grubu, Türkiye'nin Doğu Anadolu Bölgesi'nde bir devlet ortaokulunda öğrenim gören ve amaçlı örnekleme yöntemiyle seçilen 15 tane 7. sınıf öğrencisinden oluşmaktadır. Araştırma 2 haftalık bir süreci kapsamaktadır. Araştırma sürecinde, dörtgenler konusuna ait kazanımlar aynı öğrenci grubuna farklı haftalarda sırasıyla hikâyeleştirme ve etkinlik temelli öğretim yöntemleriyle uygulanmıştır. Uygulama sonunda veriler, araştırmacı tarafından geliştirilen yarı yapılandırılmış görüşme formu aracılığıyla toplanmış ve içerik analizi yöntemiyle analiz edilmiştir. Araştırma sonucunda her iki öğretim yöntemin de öğrencilerin derse katılımını artırdığı, matematik dersine yönelik olumlu tutum geliştirmelerine katkı sağladığı ve öğrenme sürecini daha eğlenceli hâle getirdiği belirlenmiştir. Bununla birlikte hikâyeleştirme yönteminin öğrencilerin hayal gücünü ve derse yönelik ilgisini artırdığı; etkinlik temelli öğretim yönteminin ise öğrencilerin aktif katılımını destekleyerek kalıcı öğrenmeye katkı sunduğu sonucuna ulaşılmıştır. Araştırma bulgularının, matematik öğretiminde alternatif öğretim yöntemlerinin kullanımına yönelik öğretmenlere ve araştırmacılara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.
Anahtar Kelimeler: Matematik öğretimi, geometri öğretimi, dörtgenler, hikâyeleştirme yöntemi, etkinlik temelli öğretim, öğrenci görüşleri.

COMPARISON OF THE CONTRIBUTION OF STORYTELLING AND ACTIVITY-BASED TEACHING METHODS TO THE INSTRUCTION OF 7TH GRADE QUADRILATERALS BASED ON STUDENT OPINIONS

Abstract
This study aims to compare the storytelling and activity-based teaching methods used in the instruction of quadrilaterals in seventh-grade mathematics based on students' opinions. Although storytelling and activity-based teaching methods have mostly been addressed

separately in the literature, this study applies both methods sequentially to the same group of students, allowing for a direct comparison of their effects on the learning process of geometric concepts through students' experiences. A case study design, one of the qualitative research methods, was employed in the study. The study group consisted of 15 seventh-grade students attending a public middle school in the Eastern Anatolia Region of Türkiye, who were selected through purposive sampling. The research was conducted over a two-week period. During the research process, the learning objectives related to quadrilaterals were taught to the same group of students in different weeks using the storytelling and activity-based teaching methods, respectively. At the end of the implementation, data were collected through a semi-structured interview form developed by the researcher and analyzed using content analysis. The findings revealed that both teaching methods increased students' participation in lessons, contributed to the development of positive attitudes toward mathematics, and made the learning process more enjoyable. However, the storytelling method was found to enhance students' imagination and interest in the lesson, whereas the activity-based teaching method supported students' active participation and contributed to more lasting learning. It is expected that the findings of the study will contribute to teachers and researchers regarding the use of alternative teaching methods in mathematics education.
Keywords: Mathematics education, geometry education, quadrilaterals, storytelling method, activity-based teaching, student opinions.

1. GİRİŞ

Matematik, ilk çağlardan beri insanların anlamlandırmaya ve tanımlamaya çalıştığı önemli kavramlardan biri olmuştur (Sert ve Şimşek, 2023). Günümüzde dahi matematiğin ne olduğu konusunda kesin bir tanıma ulaşılamamış olsa da Türk Dil Kurumu'na (TDK, 2026) göre Matematik; aritmetik, cebir, geometri gibi sayı ve ölçü temeline dayanarak niceliklerin özelliklerini inceleyen bilimlerin ortak adıdır. Geometri, sadece matematik dersinin öğrenme alanı değil, aynı zamanda insanların dünyayı anlamlandırmasına yardımcı olan ve günlük yaşamda sıklıkla kullanılan bir alandır (Çoban ve Mert Uyangör, 2024). Yaşadığımız çevrede yer alan pek çok varlık geometrik şekil ve cisimlerle benzerlik göstermektedir. Bu durum, insanların çevreyi anlayabilmesi ve hayatlarını kolaylaştırabilmesi için geometri bilgisine sahip olmasını gerektirmektedir (Dağdelen, 2012). Birçok araştırmacı, bebeklerin doğdukları andan itibaren geometrik şekillerle karşılaştıklarını; şekil ve büyüklük algısının ise erken yaşlarda gelişmeye başladığını ifade etmiştir (Toptaş, 2008). Bu nedenlerden dolayı geometri eğitimi ve öğretimine oldukça önem verilmektedir. Geometrinin, öğrencilerin uzamsal düşünme, geometrik ilişkileri kavrama becerilerini ve kritik düşünme yeteneklerini geliştirdiği ancak bu alanda başarının artırılması için daha fazla çaba gerektirdiği vurgulanmaktadır (Kavaklı ve ark, 2023).

Alanyazın incelendiğinde geometri öğretiminde farklı yöntem ve teknikler kullanılmıştır. Geçmişten günümüze okullarda en yaygın kullanılan geleneksel yöntem, öğrenciyi merkeze almayan, ezbere dayalı, bireysel farklılıkları göz ardı eden bir yöntemdir (Dikkartın, 2006). Ayrıca öğretmenin aktif, öğrencinin pasif olduğu bu yöntem, öğrencileri hem ezbere yöneltiyor hem de öğrencilerin derse karşı olumsuz tutum sergilemesine neden olmaktadır (Özkara, 2023). Matematiğin geniş bir kullanım alanına sahip olmasına rağmen bu kadar zor bir ders olarak algılanmasının sebebinin öğretim yöntemiyle ilişkili olduğu söylenebilir (Sert ve Şimşek, 2023). Bu nedenle "Matematik nasıl öğretilmelidir?" sorusu, uzun yıllardır matematik eğitimcileri tarafından düşünülmekte ve yeni yaklaşımlar ve matematiksel gelişmelerin etkilerini ortaya koymak için çalışmalar yapılmaktadır (Sert ve Şimşek, 2023). 2005 yılında oluşan yeni programla birlikte "Her çocuk matematiği öğrenebilir." ilkesine dayanarak

yapılandırmacı eğitim anlayışına geçildi (Dağdelen, 2012). Yapılandırmacı anlayış, öğrencinin bilgiyi pasif olarak alması yerine deneyimleri yoluyla aktif bir biçimde oluşturmasını sağlayan öğrenci merkezli bir eğitim anlayışıdır. (Korkmaz, 2023). Bu anlayış, öğrencinin yeni bilgileriyle önceki bilgilerini ilişkilendirerek anlamlandırmasına ve yapılandırmasına olanak tanır (Kendirci, 2023). Bu bağlamda; bilgisayar destekli öğretim, işbirlikli öğrenme, probleme dayalı öğrenme, kavram haritalarıyla öğrenme, oyun ve drama teknikleri, görselleştirme yoluyla öğrenme, tam öğrenme modeli, problem çözme teknikleri, etkinlik temelli öğrenme ve hikâyeleştirme yöntemi gibi alternatif öğrenme yöntem ve tekniklerine yönelik çeşitli çalışmalar yürütülmektedir (Sert ve Şimşek, 2023). Bu farklı öğrenme yöntem ve teknikleri, matematik öğretiminde etkili bir öğrenme ortamının oluşturulması açısından önemli bir yere sahiptir.

Bu doğrultuda hikâyeleştirme yöntemi ve etkinlik temelli uygulamalar, matematiksel içerikleri öğrencilerin ön bilgileri ve yaşantılarıyla ilişkilendirerek bilgiyi aktif biçimde yapılandırmalarına olanak sağlayan, öğrenme sürecini anlamlı ve kalıcı hâle getiren öğrenci merkezli öğretim yaklaşımları olarak öne çıkmaktadır. Özellikle hikâyeleştirme yöntemi, öğrencinin yaparak yaşayarak öğrenmesine fırsat sunan ve onun öğrenme sürecinde aktif rol almasını sağlayan bir yaklaşımdır (Özgül, 2023). Sınıfta yeni matematiksel kavramların öğretilmesine, disiplinler arası bağlantılar kurularak öğrenme süreçlerinin zenginleştirilmesine, öğrencilerin motive edilmesine ve derse olan katılımın sürdürülmesine katkı sağlayan bu yaklaşım, aynı zamanda öğrencilerin hayal dünyasını harekete geçirerek matematiği daha iyi anlamalarına ve içselleştirmelerine yardımcı olmaktadır (Sert ve Şimşek, 2023). Buna ek olarak yeni nesil öğretim yöntemlerinden biri olan etkinlik temelli öğretim, öğrencilerin ders esnasında aktif bir biçimde katılmış oldukları etkinlikler ve öğrencilerin öğrenmenin sorumluluğunu aldığı bir öğretim yöntemidir (Korkmaz, 2023). Sınıfta yapılan etkinlikler, öğrencinin bilgiyi anlamlı bir şekilde oluşturması ve yeni oluşturulan bilgilerin kalıcılığının sağlanmasına yardımcı olan bir araç olarak kullanılabilir. Bu yaklaşım öğrencinin çevresiyle etkileşimde bulunurken aktif olmasını sağlayarak yeni bilgilerin önceki bilgilerle ilişkilendirmesini ve bu bilgileri zihninde anlamlandırmasını sağlar (Kendirci, 2023).

Ortaokul Matematik Dersi Öğretim Programı'nda yer alan öğrenme alanları içerisinde Geometri ve Ölçme, öğrencilerin hem bilişsel hem de kavramsal düzeyde en çok yanılgı ve güçlük yaşadığı alanların başında gelmektedir (Şahingöz, 2024). Bu alanın temelini oluşturan dörtgenler konusu, öğrencilerin hem günlük yaşamda hem de okul öğreniminde sıklıkla karşılaştıkları bir konu olmasına rağmen, yapılan araştırmalar öğrencilerin bu konuda zorlandıklarını göstermektedir (Akt. Şahingöz, 2024). Bu durum, dörtgenler konusunun öğretiminde öğrencilerin ilgisini çekecek, somutlaştırma sağlayacak ve kavramsal algıyı destekleyecek farklı yöntemlerin etkililiğinin incelenmesini gerekli kılmaktadır.

Bu araştırmada, etkinlik temelli öğretim yöntemi ve hikâyeleştirme yöntemlerinin yedinci sınıf dörtgenler konusundaki etkililiği, öğrencilerden elde edilen görüşler doğrultusunda karşılaştırılmaktadır. Literatürde her iki öğrenme modelinin ayrı ayrı incelendiği çalışmalar mevcut olsa da ikisinin öğrenci görüşlerine dayalı karşılaştırmalı analizinin yapıldığı bir çalışmaya rastlanılmamıştır (Altun, 2016; Altunbay ve Soylu, 2020; Batdı, 2014; Canbolat, 2023; Erdem ve Sarpkaya Aktaş, 2018; Gürbüz ve ark., 2010; Kendirci, 2023; Küpcü, 2012; Özgül, 2023; Özkan, 2023; Şahingöz, 2024; Tuncay, 2019; Yenil, 2026). Öğrencilerin derse yönelik tutumları, öğrenme sürecine aktif katılımları ve uygulanan modelleri değerlendirmeleri, her iki yaklaşımın olumlu ve olumsuz yönlerinin ortaya konulmasına katkı sağlamaktadır. Araştırma bulgularının, matematik öğretiminde alternatif yöntemlerin kullanımına yönelik öğretmenlere ve araştırmacılara yol gösterici nitelikte olacağı düşünülmektedir.

1.1. Araştırmanın Amacı ve Alt Problemleri

Bu araştırmanın temel amacı, hikâyeleştirme ve etkinlik temelli öğretim yöntemlerinin 7. sınıf dörtgenler konusunun öğretimine katkısını öğrenci görüşlerine dayalı olarak karşılaştırmaktır. Bu genel amaç doğrultusunda şu alt problemlere cevap aranmıştır:

- 7. sınıf öğrencilerinin dörtgenler konusunun öğretiminde uygulanan hikâyeleştirme yöntemine ilişkin görüşleri nelerdir?
- 7. sınıf öğrencilerinin dörtgenler konusunun öğretiminde uygulanan etkinlik temelli öğretim yöntemine ilişkin görüşleri nelerdir?
- Öğrenci görüşlerine göre hikâyeleştirme ve etkinlik temelli öğretim yöntemlerinin dörtgenler konusunu anlamaya, derse katılım sağlamaya ve motivasyona olan katkıları arasındaki benzerlikler ve farklılıklar nelerdir?

2. YÖNTEM

2.1. Araştırma Deseni

Bu araştırmada nitel araştırma desenlerinden durum çalışması deseni kullanılmıştır. Durum çalışması, belirli bir durumun kendi bağlamı içerisinde çok yönlü ve derinlemesine incelenmesine olanak sağlayan bir araştırma yaklaşımıdır (Subaşı ve Okumuş, 2017). Bu nedenle araştırmada ele alınan öğretim sürecinin ayrıntılı biçimde analiz edilmesi amacıyla bu desen tercih edilmiştir. Araştırmada, hikâyeleştirme yöntemi ile etkinlik temelli öğrenme yöntemlerinin 7. sınıf matematik dersi dörtgenler konusundaki etkililiği, öğrenci görüşlerine dayalı olarak karşılaştırılmıştır. Aynı öğrenci grubuna her iki öğretim modeli farklı haftalarda uygulanarak çalışma yürütülmüştür.

2.2. Çalışma Grubu

Araştırmanın çalışma grubunu, 2025–2026 eğitim-öğretim yılında Doğu Anadolu Bölgesi'nde bulunan bir devlet ortaokulunda öğrenim gören 7. sınıf düzeyindeki 15 öğrenci oluşturmaktadır. Çalışma grubunun belirlenmesinde amaçlı örnekleme yöntemlerinden kolay ulaşılabilir durum örneklemesi tercih edilmiştir. Amaçlı örnekleme, nitel araştırmalarda araştırma probleminin derinlemesine incelenmesine olanak sağlayan ve bilgi açısından zengin durumların seçilmesini esas alan bir örnekleme yöntemidir. Kolay ulaşılabilir örnekleme ise araştırmacının zaman, mekân ve uygulama imkânları açısından kolay erişebildiği çalışma gruplarını kapsamakta ve özellikle sınıf içi uygulamaya dayalı çalışmalarda sıklıkla tercih edilmektedir (Yıldırım ve Şimşek, 2016).

Çalışmaya katılan öğrenciler farklı akademik başarı düzeylerine sahip olup araştırmaya gönüllülük esasına dayalı olarak dâhil edilmiştir. Araştırma sürecinde öğrencilere gerekli bilgilendirmeler yapılmış, öğrencilerin ve velilerin onayı alınmıştır. Uygulama sürecinde öğrenciler her iki öğretim yöntemini de deneyimleme fırsatı bulmuş, böylece öğretim süreçlerine ilişkin görüşlerini karşılaştırmalı biçimde ifade edebilmeleri amaçlanmıştır. Ayrıca çalışma grubunun seçilmesinde öğrencilerin araştırma sürecine aktif katılım sağlayabilecek düzeyde olmalarına dikkat edilmiştir.

2.3. Uygulama Süreci

Araştırma süreci toplam iki haftada gerçekleştirilmiştir. Dörtgenler konusuna ait 2 kazanım iki farklı öğretim yöntemiyle işlenmiştir. Dörtgenler konusuyla ilgili uygulamanın gerçekleştirildiği kazanımlar:

M.7.3.2.3. Dikdörtgen, paralelkenar, yamuk ve eşkenar dörtgeni tanır; açı özelliklerini belirler

a) Kenarların oluşturduğu açılarla birlikte eşkenar dörtgen, kare ve dikdörtgende köşegenlerin oluşturduğu açılar da incelenir.

b) Kare, dikdörtgenin ve eşkenar dörtgenin özel bir durumu olarak ele alınır. Bunun yanı sıra dikdörtgen ve eşkenar dörtgen, paralelkenarın özel hâlleri olarak ele alınır. Ayrıca dikdörtgen, eşkenar dörtgen ve paralelkenar da yamuğun özel durumları olarak ele alınır. Dörtgenler arasındaki hiyerarşik ilişkileri (özel durumları) kavrar.

1. Hafta Uygulaması

Bu hafta "Dörtgenler arasındaki hiyerarşik ilişkileri (özel durumları) kavrar." kazanımına yönelik hikâyeleştirme yöntemiyle öğretim süreci gerçekleştirilmiştir. Ders kapsamında öğrencilerin dörtgenler arasındaki ilişkileri daha kolay anlayabilmeleri amacıyla hikâyeleştirme yöntemi kullanılmıştır.

Dersin başlangıcında öğretmen öğrencilere "Hangi dörtgenleri biliyorsunuz?", "Kare ile dikdörtgen arasında nasıl bir ilişki vardır?", "Tüm dörtgenlerin ortak özellikleri nelerdir?" gibi sorular yönelterek öğrencilerin ön bilgilerini ortaya çıkarmıştır. Öğrencilerin cevapları dinlendikten sonra öğretmen, dörtgenleri daha iyi tanıyabilmek için onları bir aileye benzeteceklerini söylemiş ve "Dörtgen Krallığı" adlı hikâyeyi anlatmaya başlamıştır.

Öğretmen hikâyeye şu sözlerle giriş yapmıştır:

"Bir zamanlar bütün geometrik şekillerin yaşadığı büyük bir krallık varmış. Bu krallıkta dört kenarı ve dört açısı olan şekiller birlikte yaşarmış. Bir gün kral, tüm dörtgenleri büyük salona toplamış ve onlara şöyle demiş: 'Sizler aynı aileden geliyorsunuz. Çünkü hepinizin dört kenarı ve dört açısı vardır. Ayrıca iç açılarınızın toplamı her zaman 360°'dir.'

Daha sonra krallığın en yaşlı üyesi olan Yamuk öne çıkmış ve kendini tanıtmıştır:

"Ben bu ailenin en yaşlısıyım (Dede). Benim yalnızca bir çift paralel kenarım vardır. Diğer kenarlarım birbirine paralel değildir. Karşılıklı açılarım her zaman eşit olmayabilir. Ancak paralel iki kenarım arasındaki açılarımın toplamı 180°'dir."

Öğretmen bu sırada tahtaya yamuk çizmiş ve paralel olan kenarları farklı renkle göstererek öğrencilerin dikkatini çekmiştir.

Ardından Yamuğun oğlu Paralelkenar söz almıştır:

"Ben babamın tüm özelliklerini taşırım. Ancak ben biraz daha düzenliyim. Benim karşılıklı kenarlarım birbirine paraleldir. Ayrıca karşılıklı açılarım eşittir ve ardışık olan açılarımın toplamı 180°'dir."

Öğretmen paralelkenarı tahtaya çizmiş, karşılıklı kenarları oklarla göstererek öğrencilerin şeklin özelliklerini fark etmelerini sağlamıştır.

Hikâyenin devamında Paralelkenarın iki çocuğu olduğu söylenmiştir. Bunlardan ilki olan Eşkenar Dörtgen ayağa kalkarak şöyle demiştir:

"Ben de babamın tüm özelliklerini taşırım. Ancak benim en önemli özelliğim bütün kenarlarımın eşit uzunlukta olmasıdır."

Öğretmen bu sırada eşkenar dörtgen çizerek tüm kenar uzunluklarını eşit işaretlerle göstermiştir.

Daha sonra Dikdörtgen söz almıştır:

"Ben de babamın özelliklerine sahibim. Fakat benim bütün açılarım tam 90°'dir. Bu yüzden çok düzenli görünürüm."

Öğretmen dikdörtgenin açılarını tahtada kare sembolü ile göstererek öğrencilerin dikkatini açılara yönlendirmiştir.

Son olarak ailenin en küçük üyesi olan Kare heyecanla konuşmaya başlamıştır:

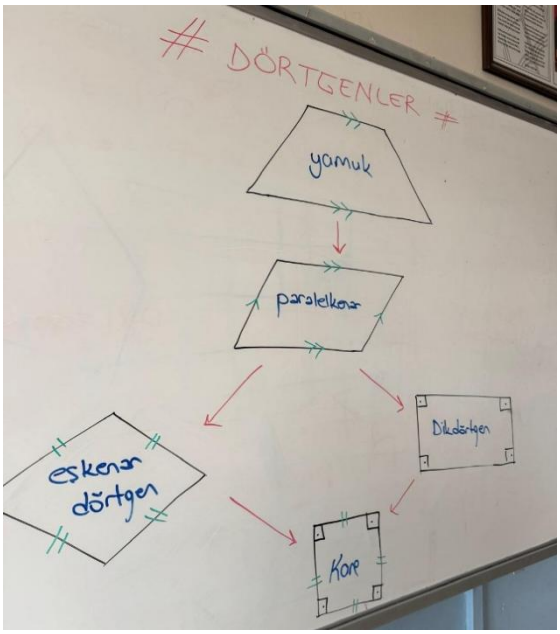
"Ben ailedeki en küçük torunum, herkese benzerim. Bütün kenarlarım eşittir ve bütün açılarım 90°'dir. Bu yüzden hem eşkenar dörtgenim hem dikdörtgenim. Aynı zamanda paralelkenar ve yamuğun özelliklerini de taşırım."

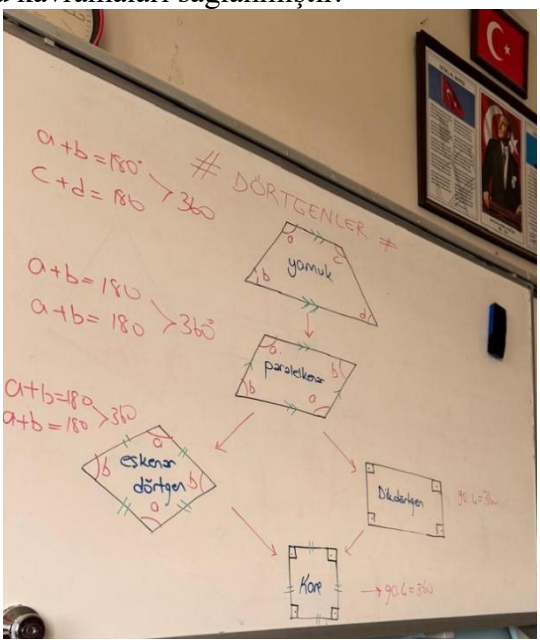
Bu bölümde öğretmen kareyi tahtaya çizmiş ve öğrencilerden karenin hangi şekillere benzediğini söylemelerini istemiştir. Öğrencilerin, karenin diğer dörtgenlerin özelliklerini

taşıdığını fark etmeleri sağlanmıştır.
Hikâyenin sonunda Yamuk tekrar söz almış ve şöyle demiştir:
"Bazılarınız daha genel özelliklere, bazılarınız ise daha özel özelliklere sahipsiniz. Özellikler arttıkça şekiller daha özel hâle gelir. Ancak hepimiz aynı ailenin üyeleriyiz."
Öğretmen hikâye boyunca tahtada dörtgenler arasındaki hiyerarşik ilişkiyi gösteren bir şema oluşturmuştur. Hikâye tamamlandıktan sonra öğrencilere:

- Kare aynı zamanda bir dikdörtgen midir?
- Eşkenar dörtgen bir paralelkenar mıdır?
- Her dikdörtgen kare midir?
- Paralelkenar aynı zamanda yamuk sayılır mı?

şeklinde sorular yöneltilmiştir. Böylece öğrencilerin dörtgenler arasındaki ilişkileri tartışmaları ve dörtgenlerin birbirlerinin özel durumları olduğunu kavramaları sağlanmıştır.





2. Hafta Uygulaması

Bu hafta "Kenarların oluşturduğu açılarla birlikte eşkenar dörtgen, kare ve dikdörtgende köşegenlerin oluşturduğu açılar da incelenir." kazanımına yönelik etkinlik temelli öğrenme yöntemi kullanılmıştır. Ders sürecinde öğrencilerin dörtgenlerin köşegen özelliklerini hazır olarak edinmek yerine, etkinlikler aracılığıyla keşfederek öğrenmeleri amaçlanmıştır.
Dersin başlangıcında öğretmen sınıfa farklı uzunluklarda çöp şişler, renkli ipler, cetvel, açıölçer ve kalemlerle gelmiştir. Öğrencilerin dikkatini çekmek amacıyla öğretmen elindeki çöp şişlerle hızlıca farklı şekillerin köşegenlerini oluşturmuş ve öğrencilere şu soruyu yöneltmiştir:
"Bir şeklin köşegenleri bize o şekil hakkında neler söyleyebilir?"
Öğrencilerin tahminleri alındıktan sonra öğretmen, bugün dörtgenlerin köşegenlerini inceleyerek şekiller arasındaki benzerlik ve farklılıkları keşfedeceklerini açıklamıştır.
İlk etkinlikte öğretmen eşit uzunlukta iki çöp şişi 90°'lik açıyla kesişecek şekilde tahtada birleştirmiştir. Daha sonra öğrencilerden de ellerindeki ipleri aynı uzunlukta kesmeleri ve açıölçer yardımıyla ipleri dik açı oluşturacak biçimde yerleştirmeleri istenmiştir. Öğrenciler oluşturdukları şeklin uç noktalarını cetvel yardımıyla birleştirmiştir. Öğretmen öğrencilere oluşan şeklin hangi dörtgene benzediğini sormuş, öğrencilerden "kare" cevabını vermeleri beklenmiştir.

- Köşegen uzunlukları birbirine eşit mi?
- Köşegenler birbirini ortalıyor mu?
- Köşegenlerin kesiştikleri yerde oluşan açılar kaç derecedir?
- Köşegenler şekli kaç parçaya ayırıyor?

Öğrenciler ölçümler yaparak karenin köşegenlerinin birbirine eşit olduğunu, birbirini ortaladığını ve dik kesiştiğini keşfetmiştir. Ayrıca köşegenlerin kareyi eş parçalara ayırdığını fark etmişlerdir.

İkinci etkinlikte öğretmen farklı uzunluktaki şişleri aralarındaki açı 90°'den farklı olacak şekilde yerleştirir. Öğrenciler de aynı modeli iplerle hazırlamıştır. Oluşturulan şeklin uç noktalarını cetvel yardımıyla birleştirmeleri istenmiş ve öğrencilerden ölçüm yapmaları istenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda öğrenciler paralelkenarın köşegenlerinin birbirini ortaladığını ancak her zaman eşit uzunlukta olmadığını ve köşegenlerin arasındaki açıların 90°'den farklı olduğunu keşfetmiştir.

Üçüncü etkinlikte öğretmen aynı uzunluktaki şişleri aralarındaki açı 90°'den farklı olacak şekilde yerleştirir. Öğrenciler de aynı modeli iplerle hazırlamıştır. Oluşturulan şeklin uç noktalarını cetvel yardımıyla birleştirmeleri istenmiş ve öğrencilerden ölçüm yapmaları istenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda öğrenciler dikdörtgenin köşegenlerinin birbirini ortaladığını ve eşit uzunlukta olduğunu ancak köşegenlerin arasındaki açıların 90°'den farklı olduğunu keşfetmiştir.

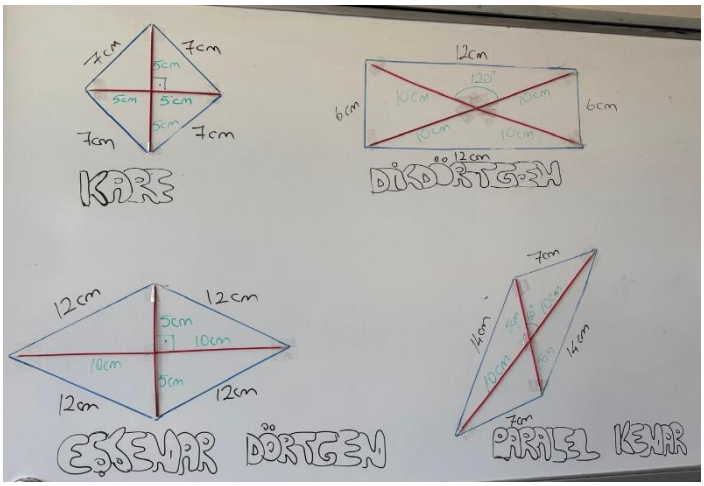
Dördüncü etkinlikte öğretmen farklı uzunluktaki şişleri aralarındaki açı 90° olacak şekilde yerleştirir. Öğrenciler de aynı modeli iplerle hazırlamıştır. Oluşturulan şeklin uç noktalarını cetvel yardımıyla birleştirmeleri istenmiş ve öğrencilerden ölçüm yapmaları istenmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda öğrenciler eşkenar dörtgenin köşegenlerinin birbirini ortaladığını ancak farklı uzunlukta olduğunu ve köşegenlerin arasındaki açıların 90° olduğunu keşfetmiştir.

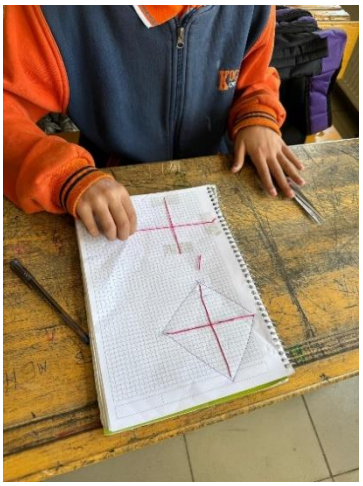
Etkinliklerin sonunda öğretmen öğrencilerle birlikte dörtgenlerin köşegen özelliklerini karşılaştırmalı olarak değerlendirmiştir. Tahtada oluşturulan tabloya öğrencilerin keşfettiği özellikler yazılmıştır. Böylece öğrencilerin dörtgenler arasındaki benzerlik ve farklılıkları görmeleri sağlanmıştır.

Dersin sonunda öğrencilere şu sorular yöneltilmiştir:

- Hangi dörtgenlerin köşegenleri eşittir?
- Hangi dörtgenlerde köşegenler dik kesişir?
- Hangi dörtgenlerin köşegenleri birbirini ortalar?
- Kare hangi şekillerin özelliklerini birlikte taşımaktadır?

Bu etkinlikler sayesinde öğrencilerin dörtgenlerin köşegen özelliklerini yaparak yaşayarak öğrenmeleri, ölçme yapmaları ve geometrik ilişkileri keşfederek anlamlandırmaları hedeflenmiştir.





2.4. Veri Toplama Aracı

Araştırmada veri toplama aracı olarak araştırmacı tarafından geliştirilen yarı yapılandırılmış görüşme formu kullanılmıştır. Görüşme formunda; hikâyeleştirme yöntemi, etkinlik temelli öğrenme yöntemi ve bu iki yöntemin karşılaştırılmasına yönelik açık uçlu sorulara yer verilmiştir. Sorular hazırlanırken öğrencilerin uygulama sürecine ilişkin düşüncelerini, öğrenme deneyimlerini ve yöntemlere yönelik görüşlerini ayrıntılı biçimde ifade edebilmeleri amaçlanmıştır.

Görüşme formu hazırlanma sürecinde alan uzmanlarının görüşlerine başvurulmuş, hazırlanan sorular uzman değerlendirmesine sunulmuştur. Uzmanlardan gelen dönütler doğrultusunda soruların kapsamı, ifade biçimi ve anlaşılırlığı açısından gerekli düzenlemeler yapılmış ve forma son hâli verilmiştir. Bu süreçte özellikle soruların açık, anlaşılır ve araştırmanın amacına uygun olmasına dikkat edilmiştir

Görüşme formu üç bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde hikâyeleştirme yöntemine ilişkin sorular, ikinci bölümde etkinlik temelli öğrenme yöntemine ilişkin sorular, üçüncü bölümde ise her iki yöntemin karşılaştırılmasına yönelik sorular yer almaktadır. Görüşmeler uygulama süreci sonunda öğrencilere yöneltilmiş ve öğrencilerin dörtgenler konusunun öğretimine ilişkin görüşleri alınmıştır.

2.5. Verilerin Toplanması

Araştırma verileri, uygulama sürecinin tamamlanmasının ardından öğrencilerle gerçekleştirilen yarı yapılandırılmış görüşmeler aracılığıyla toplanmıştır. Veri toplama sürecinde öğrencilere hikâyeleştirme yöntemi, etkinlik temelli öğrenme yöntemi ve her iki yöntemin birlikte kullanımına yönelik açık uçlu sorular yöneltilmiştir.

Görüşmeler, öğrencilerin kendilerini rahat ifade edebilecekleri sınıf ortamında gerçekleştirilmiştir. Öğrencilerin uygulamalara ilişkin düşüncelerini ayrıntılı biçimde ifade etmelerine fırsat verilmiş, gerektiğinde ek sorular sorularak cevaplar derinleştirilmiştir. Görüşme sürecinde öğrencilerin gönüllü katılım göstermelerine dikkat edilmiştir.

Veri toplama sürecinde öğrencilerin dörtgenler konusunun öğretimine ilişkin görüşleri, öğrenme süreçleri, karşılaştıkları güçlükler ve uygulamalara yönelik değerlendirmeleri belirlenmeye çalışılmıştır. Elde edilen veriler daha sonra analiz edilmek üzere düzenli şekilde kayıt altına alınmıştır.

2.6. Verilerin Analizi

Araştırma kapsamında elde edilen veriler, nitel veri analiz yöntemlerinden içerik analizi kullanılarak çözümlenmiştir. Görüşmelerden elde edilen öğrenci cevapları öncelikle yazılı hâle getirilmiş, ardından ayrıntılı biçimde incelenmiştir.

Analiz sürecinde öğrenci ifadeleri araştırmacı ve alan uzmanı tarafından bağımsız olarak

kodlanmış, daha sonra bu kodlar karşılaştırılarak ortak bir kod listesi oluşturulmuştur. Elde edilen kodlar benzerlik ve farklılıklarına göre kategoriler altında toplanmıştır. Bu kapsamda hikâyeleştirme yöntemi, etkinlik temelli öğrenme yöntemi ve iki yöntemin karşılaştırılmasına ilişkin öğrenci görüşleri ayrı kategoriler altında ele alınmıştır.

Araştırmanın güvenirliğini sağlamak amacıyla Miles ve Huberman (1994) tarafından önerilen güvenirlik formülü kullanılmış ve araştırmacı ile uzman kodlamaları arasındaki uyum oranı %86 hesaplanmıştır. Yapılan hesaplama sonucunda güvenirlik oranının kabul edilebilir düzeyde olduğu belirlenmiştir.

Elde edilen bulgular, öğrencilerin görüşlerinden doğrudan alıntılarla desteklenmiş ve yorumlanmıştır. Bu sayede öğrencilerin dörtgenler konusunun öğretimine yönelik görüşlerinin daha ayrıntılı ve anlamlı biçimde ortaya konulması amaçlanmıştır.

3. BULGULAR

Öğrenci görüşme formlarının içerik analizi sonucunda elde edilen hikayeleştirme yöntemine yönelik öğrenci görüşleri, etkinlik temelli öğretim yöntemine yönelik öğrenci görüşleri, hikâyeleştirme yöntemi ve etkinlik temelli öğretim yöntemini karşılaştırmaya yönelik öğrenci görüşleri aşağıdaki tablolarda yer almaktadır.

3.1. Tablo 1

Öğrencilerin Hikâyeleştirme Yöntemine Yönelik Görüşleri

Kategori	Kod	f	%	Katılımcılar	Örnek Öğrenci İfadesi
Öğrenme Süreci	Konunun daha kolay anlaşılması ve kavranması	6	40	Ö2, Ö5, Ö6, Ö8, Ö9, Ö10	"Konuyu anlamamı kolaylaştırdı" (Ö6) / "Anlamamı ve konuyu kavramamı kolaylaştırdı" (Ö10)
	Derse ilgi ve merakın artması	6	40	Ö1, Ö5, Ö7, Ö11, Ö12, Ö15	"İlgimi çekti, merakla dinledim" (Ö1) / "Daha iyi anladım ve merakım arttı" (Ö7)
	Öğrenme sürecinin eğlenceli ve ilgi çekici olması	6	40	Ö1, Ö2, Ö3, Ö5, Ö6, Ö10	"Daha kolay ve eğlenceli" (Ö2) / "Kitaptan işlemek daha sıkıcı, hikâye eğlenceli ve kalıcı" (Ö6)
	Bilgilerin pekişmesi ve kalıcılık	4	26,6	Ö1, Ö4, Ö5, Ö9	"Daha iyi pekiştiriyor" (Ö4)
	Oyunlaştırma ve etkinlik önerileri	2	13,3	Ö14, Ö15	"Oyun oynadığımız için çok katkısı oldu" (Ö14)

Görselleştirme	Karakterleri gerçek yaşam ve aile yapısıyla ilişkilendirme	7	46,6	Ö1, Ö5, Ö8, Ö10, Ö11, Ö14, Ö15	"Onların da insanların aile yapısı gibi yapısı vardı" (Ö7)
	Karakterlerle somutlaştırma	4	26,6	Ö7, Ö10, Ö12, Ö14	"Paralelkenar dedeydi, eşkenar ve dikdörtgen babaydı" (Ö14)
	Çizgi film karakterleriyle özdeşleştirme	2	13,3	Ö8, Ö13	"Onları çizgi film karakterine benzettim" (Ö8)
	Zihinsel canlandırma ve görsel kalıcılık	3	20	Ö4, Ö7, Ö10	"Aile gibi aklımda canlandı" (Ö4)
Kavramsal Öğrenme	Dörtgenler arasındaki ilişkileri fark etme	5	33,3	Ö3, Ö4, Ö5, Ö6, Ö12	"Dörtgenler birbiriyle bağlantılı" (Ö4, Ö5)
	Şekil özelliklerini geometrik kurallarla ilişkilendirme	4	26,6	Ö2, Ö3, Ö6, Ö12	"Çoğu karakterle dikdörtgenin özellikleri eşleşiyor" (Ö2)
	Geometrik özelliklerin akılda kalıcılığı	2	13,3	Ö7, Ö12	"Ezberimde kalacak şekilde bağ kurdum" (Ö7)
	Kenar ve açı özellikleri üzerinden ilişki kurma	2	13,3	Ö11, Ö15	"Kenar ve açılarının benzerliği ile bağ kurdum" (Ö11)
Hiyerarşik Düşünme	Dörtgenleri aile bireylerine benzetme	9	60	Ö2, Ö4, Ö5, Ö7, Ö8, Ö10, Ö11, Ö12, Ö13	"Dörtgenleri aile bireylerine benzetmek kolaylaştırdı" (Ö5)
	Özelliklerin bir sonraki şekle aktarılması	3	20	Ö1, Ö3, Ö7	"Hepsi kendi özelliğini bir sonrakine aktarıyor" (Ö1)
Bilgi Paylaşımı	Öğretmenin anlatım biçimini model alma	4	26,6	Ö4, Ö8, Ö11, Ö12	"Hocanın bize anlattığı gibi anlatırım" (Ö4)

Kalıcılık ve verimlilik vurgusu	3	20	Ö1, Ö2, Ö15	"Akılda daha kalıcı olur" (Ö2)
Konunun daha kolay öğretilmesi	2	13,3	Ö5, Ö6	"Öğrencinin ilgisini artırır ve daha basit olur" (Ö5)
Hikâyeyi arkadaşlarına aktarma	2	13,3	Ö9, Ö13	"Dörtgenler krallığını anlatırdım" (Ö9)
Eğlenceli ve oyun temelli öğretim	2	13,3	Ö3, Ö14	"Oyun oynayarak öğretirim" (Ö14)

Tablo 1 incelendiğinde; öğrencilerin hikâyeleştirme yöntemine yönelik görüşlerinin büyük ölçüde olumlu olduğu görülmektedir. Özellikle öğrenme süreci kategorisinde yer alan ifadeler, hikâyenin öğrencilerin konuyu daha kolay anlamalarına, derse ilgi duymalarına ve öğrenme sürecini daha eğlenceli bulmalarına katkı sağladığını göstermektedir. Öğrencilerin sıkça "kolaylaştırdı", "ilgi çekiciydi" ve "akılda kalıcıydı" şeklinde görüş bildirmeleri, hikâyeleştirmenin hem bilişsel hem de duyuşsal açıdan öğrenmeyi desteklediğini ortaya koymaktadır.

Görselleştirme kategorisindeki bulgular, öğrencilerin geometrik şekilleri aile üyeleri ve karakterlerle ilişkilendirerek zihinsel canlandırma yaptıklarını göstermektedir. Bu durum soyut geometrik kavramların somutlaştırılmasına katkı sağlamış ve öğrencilerin konuyu anlamlandırmalarını kolaylaştırmıştır.

Kavramsal öğrenme kategorisinde öğrencilerin dörtgenler arasındaki ilişkileri ve geometrik özellikleri daha kolay fark ettikleri görülmektedir. Hikâye içerisinde kurulan karakter ilişkileri sayesinde öğrenciler şekiller arasındaki benzerlik ve farklılıkları daha rahat açıklayabilmişlerdir.

Özellikle hiyerarşik düşünme kategorisinin öne çıktığı görülmektedir. Öğrenciler dörtgenler arasındaki kapsama ilişkisini aile soyağacı üzerinden açıklamış, yamuğu dede, kareyi torun gibi metaforlarla ifade etmişlerdir. Bu durum hikâyeleştirmenin dörtgenler arasındaki hiyerarşik yapının anlaşılmasını kolaylaştırdığını göstermektedir.

Son olarak bilgi paylaşımı kategorisinde öğrenciler, öğrendikleri bilgileri başkalarına aktarırken aynı hikâye ve benzetmeleri kullanacaklarını belirtmişlerdir. Bu durum yöntemin öğrenciler tarafından içselleştirildiğini ve öğretici bir araç olarak görüldüğünü göstermektedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, hikâyeleştirme temelli öğretim öğrencilerin öğrenme motivasyonlarını artırmış, geometrik kavramları somutlaştırmalarını sağlamış ve dörtgenler arasındaki ilişkilerin daha kalıcı biçimde öğrenilmesine katkıda bulunmuştur.

3.2. Tablo 2

Öğrencilerin Etkinlik Temelli Öğretim Yöntemine Yönelik Görüşleri

Kategori	Kod	f	%	Katılımcılar	Örnek Öğrenci İfadesi
Öğrenme Süreci	Konunun daha iyi anlaşılması ve somut şekilde kavranması	4	26,6	Ö1, Ö2, Ö6, Ö13	"Anlamamı kolaylaştırdı" (Ö13) / "Aklımda daha iyi kaldı" (Ö6)

	Sürecin eğlenceli ve motivasyon artırıcı olması	4	26,6	Ö3, Ö8, Ö9, Ö11	"Eğlenceli bir şekilde öğrenmemi sağladı" (Ö3) / "Keyifli ve eğlenceliydi" (Ö8)
	Derse uyum, aktif katılım ve olumlu tutum geliştirme	3	20	Ö2, Ö10, Ö11	"Konuya daha çok adapte oldum" (Ö2) / "Derse pozitif bakmamı sağladı" (Ö10)
	Zamanın hızlı geçmesi ve derse aktif katılım algısı	3	20	Ö4, Ö5, Ö8	"Zaman çok hızlı geçti" (Ö4)
	Öz-yeterlilik ve başarma inancının gelişmesi	1	6,6	Ö1	"Kendimde başarabileceğimi ve daha çok öğrenmemi sağladı" (Ö1)
	Kaygı ve önyargıların azalması	1	6,6	Ö15	"Başta zorlayıcı hissettim, yapamayacağımı sandım" (Ö15)
	Uygulama sürecinde yaşanan güçlükler	3	20	Ö4, Ö5, Ö15	"Biraz kafa karıştırıcıydı" (Ö5)
	Sürecin etkisiz bulunduğu durumlar	1	6,6	Ö7	"Uygulama etki etmedi" (Ö7)
Kavramsal Öğrenme	Köşegen özelliklerinin keşfedilmesi	7	46,6	Ö2, Ö4, Ö5, Ö6, Ö7, Ö10, Ö15	"Karenin köşegenlerinin dik kesiştiğini keşfettim" (Ö5)
	Dörtgenlerin özelliklerini karşılaştırma	2	13,3	Ö9, Ö10	"Bazı dörtgenlerin köşegenlerinin birbirine eşit bazılarının farklı olduğunu anladım" (Ö10)
	Kenar özellikleri ve şekiller arası ilişkileri fark etme	1	6,6	Ö1	"Eşkenar dörtgenin kenarları eşit" (Ö1)
	Somut modellemenin ayırt ediciliğe katkısı	2	13,3	Ö11, Ö12	"İplerin boyutuna göre dörtgenleri ayırmamı sağladı" (Ö11)
	Materyal kullanımında yaşanan güçlükler	1	6,6	Ö7	"Açıların boyutunu yapmak zordu" (Ö7)
Uygulama Süreci	İpleri kesme, yerleştirme ve yapıştırma zorluğu	7	46,6	Ö4, Ö6, Ö7, Ö8, Ö9, Ö11, Ö12	"İpleri yapıştırmak çok zordu" (Ö4)
	Şekilleri ilk kez somutlaştırmada yaşanan güçlükler	2	13,3	Ö1, Ö14	"Dörtgenleri iplerle oluşturmak zordu" (Ö1)
	Öğretmen desteğiyle zorlukların aşılması	3	20	Ö1, Ö5, Ö10	"Öğretmenimden yardım aldım" (Ö1)
	Akran desteğinden yararlanma	1	6,6	Ö15	"Arkadaşlarımla yardım aldım" (Ö15)

	Pratik çözüm yolları geliştirme	2	13,3	Ö4, Ö14	"Bantla yapıştırarak kolaylaştırdım" (Ö4)
	Açı ve köşegenleri oluşturmadaki güçlükler	2	13,3	Ö3, Ö5	"Köşegenler arasındaki açıları ayarlarken zorlandım" (Ö5)
	Uygulama yaparak kuralları anlama	1	6,6	Ö2	"Şekilleri oluşturdukça anladım" (Ö2)
Kalıcı Öğrenme	Bilgilerin akılda kalıcılığının artması	7	46,6	Ö2	"Yaptığım etkinlik akılda kalıcı olduğu için unutmayacağım" (Ö2)
	Keşfederek öğrenmenin katkısı	2	13,3	Ö3, Ö15	"Kendim keşfederek yaptığımda daha kalıcı oldu" (Ö15)
	Yaparak öğrenmenin dinlemeye göre avantajı	2	13,3	Ö2, Ö11	"Bir şeyler yapmak kalıcı hale getirdi" (Ö11)
	Materyallerin öğrenmeyi desteklemesi	1	6,6	Ö3	"Renkli iplerle dörtgenleri keşfederek öğrenmemi sağladı" (Ö3)
	Öğretmen anlatımı ile etkinliklerin bütünleşmesi	3	20	Ö5, Ö8, Ö9	"Öğretmenin anlattığı şekilde iyi anladım" (Ö8)
Geliştirme Önerileri	Origami ve kâğıt katlama etkinlikleri	2	13,3	Ö1, Ö11	"Origami şeklinde yapılabilir" (Ö1)
	Oyun ve pano çalışmaları	2	13,3	Ö9, Ö11	"Farklı oyunlar oynamak" (Ö11)
	Hikâyeleştirme yaklaşımının sürdürülmesi	2	13,3	Ö6, Ö8	"Hikâye gibi anlatılması daha iyi" (Ö8)
	Materyal destekli uygulamalar	2	13,3	Ö4, Ö13	"Mıknatıslı materyalleri kullanabiliriz" (Ö4)
	Gözlemleyerek ve uygulayarak öğrenme	2	13,3	Ö7, Ö15	"Tahtada kendimiz yapalım" (Ö15)
	Soru-cevap ve çizim etkinlikleri	3	20	Ö12, Ö13, Ö14	"Etkinlik yaparak soru sorarak" (Ö14)
Başarıya Etkisi	Akademik başarıyı artıracağına yönelik inanç	7	46,6	Ö1, Ö3, Ö6, Ö10, Ö11, Ö12, Ö13	"Başarımı artıracağını düşünüyorum" (Ö1)
	Kaygının azalması ve kalıcı öğrenme	2	13,3	Ö2, Ö4	"Daha rahat ve akılda kalıcı olacağını düşünüyorum" (Ö2)
	Yeni bilgiler öğrenmeye katkı	2	13,3	Ö14, Ö15	"Yeni bilgiler öğrendim" (Ö15)
	Uygulamanın zahmetli bulunması	1	6,6	Ö3	"Yapılışı biraz zahmetli" (Ö3)
	Karmaşık ve kafa karıştırıcı bulunması	1	6,6	Ö5	"Etkinliklerin kafa karıştırıcı olduğunu düşünüyorum" (Ö5)

Anlamlandırma sürecinde yaşanan zorluklar	1	6,6	Ö9	"Etkinlikle anlamakta biraz zorlandım" (Ö9)
Başarıya etkisinin olmadığı görüşü	1	6,6	Ö7	"Değiştireceğini sanmıyorum" (Ö7)

Tablo 2 incelendiğinde; Etkinlik temelli öğretime ilişkin bulgular, öğrencilerin yaparak ve yaşayarak öğrenme sürecine yönelik olumlu görüşlere sahip olduklarını göstermektedir. Öğrenme süreci kategorisinde öğrenciler, etkinliklerin konuyu anlamalarını kolaylaştırdığını, dersi daha eğlenceli hale getirdiğini ve derse aktif katılımlarını artırdığını ifade etmişlerdir. Ayrıca bazı öğrencilerde öz-yeterlik duygusunun geliştiği ve başarabileceklerine yönelik inançlarının arttığı görülmektedir.

Kavramsal öğrenme kategorisindeki bulgular, öğrencilerin dörtgenlerin köşegen, kenar ve açı özelliklerini etkinlikler sırasında keşfettiklerini göstermektedir. Özellikle köşegen özelliklerine ilişkin yüksek frekanslı ifadeler, öğrencilerin geometrik özellikleri doğrudan deneyimleyerek öğrendiklerini ortaya koymaktadır. Bu durum keşfederek öğrenmenin kavramsal öğrenmeyi desteklediğini göstermektedir.

Uygulama süreci kategorisinde öğrencilerin en çok materyalleri kesme, yapıştırma ve şekillendirme aşamalarında zorlandıkları belirlenmiştir. Bununla birlikte öğrencilerin öğretmen desteği, arkadaş yardımı ve kendi geliştirdikleri çözüm yollarıyla bu güçlüklerin üstesinden geldikleri görülmektedir. Bu bulgu, etkinliklerin öğrencileri aktif problem çözme sürecine dahil ettiğini göstermektedir.

Kalıcı öğrenme kategorisi incelendiğinde öğrencilerin büyük çoğunluğu etkinliklerin bilgilerin akılda kalıcılığını artırdığını belirtmiştir. Öğrenciler özellikle kendi elleriyle yaptıkları çalışmaların ve keşfetme süreçlerinin öğrenilen bilgileri daha uzun süre hatırlamalarını sağladığını ifade etmişlerdir.

Geliştirme önerileri kategorisinde öğrenciler gelecekteki geometri derslerinde origami, oyunlar, hikâyeler, materyal kullanımı ve farklı uygulamalı etkinliklere yer verilmesini önermişlerdir. Bu durum öğrencilerin etkinlik temelli öğrenme yaklaşımını benimsediklerini göstermektedir.

Son olarak başarıya etkisi kategorisinde öğrencilerin büyük çoğunluğu etkinliklerin akademik başarılarını artıracağını düşünmektedir. Bununla birlikte az sayıda öğrenci etkinliklerin zaman alıcı veya kafa karıştırıcı olabileceğini belirtmiştir. Ancak genel eğilim yöntemin öğrenmeyi desteklediği ve başarıyı artırdığı yönündedir.

Genel olarak değerlendirildiğinde, etkinlik temelli öğretim öğrencilerin derse aktif katılımını artırmış, geometrik kavramları keşfederek öğrenmelerini sağlamış, öğrenilen bilgilerin kalıcılığını desteklemiş ve geometri başarısına olumlu katkı sağlayan bir öğretim yaklaşımı olarak değerlendirilmiştir.

3.3. Tablo 3

Öğrencilerin Etkinlik Temelli Öğrenme ve Hikâyeleştirme Yöntemlerine Yönelik Karşılaştırmalı Görüşleri

Karşılaştırma Boyutu	Hikâye Kurgusu (f)	Gerekçeler	Uygulamalı Etkinlik (f)	Gerekçeler
Derse Odaklanma ve Dikkat Süresi	11	Zihinde kolay canlanması, dikkat dağıtıcı unsurları engellemesi, akılda tutmanın daha zahmetsiz olması	3	Bizzat bir şeyler üretme, somut görevleri yerine getirme isteği
Konunun Dünyasını Anlaşılır Kılma	9	Aile metaforunun kalıcılık sağlaması, dinlerken göz önünde kolayca tasvir edilebilmesi	4	Kendi kendini denetleme imkanı sunması, somut materyal kullanımının kolaylığı
Öğrenmeyi Zahmetsiz Hale Getirme	7	Bilişsel yükünün az olması, çizim ve ölçüm karmaşasından uzak olması	5	İplerle somut kenar-açı bağıntılarını keserek görerek öğrenme, kalıcı pratiklik
Derse Yönelik Tutum ve Eğlence Algısı	12	Hikâyenin akıcı/merak uyandırıcı olması, matematiğin zor olduğu yönündeki önyargıları kırması	4	İplerle/açılarla uğraşmanın keyif vermesi, ders sonrası hemen soru çözme isteği uyandırması
En Çok Hoşuna Giden / Şaşırtan Unsur	10	"Dörtgenler Krallığı" ve "Yamuklar Ailesi" isimleri, kalıtımsal özellik aktarımı kurgusu	3	Dikdörtgen köşegenlerinin eşit olup dik kesişmediğini bizzat ölçerek keşfetme

Tablo 3 incelendiğinde; öğrencilerin büyük çoğunluğunun hikâyeleştirme yöntemini etkinlik temelli öğrenmeye göre daha fazla tercih ettiği görülmektedir. Özellikle dikkat çekme, derse yönelik olumlu tutum geliştirme ve konuyu anlamlandırma boyutlarında hikâyeleştirmenin daha yüksek frekanslara sahip olduğu dikkat çekmektedir. Öğrenciler, aile ve krallık metaforlarıyla oluşturulan hikâye kurgusunun geometrik şekilleri zihinde canlandırmayı kolaylaştırdığını ve öğrenme sürecini daha eğlenceli hale getirdiğini belirtmişlerdir.

Buna karşılık etkinlik temelli öğrenmeyi tercih eden öğrenciler, geometrik özellikleri bizzat deneyimleyerek keşfetmenin öğrenmelerine katkı sağladığını ifade etmişlerdir. Özellikle köşegen, açı ve kenar özelliklerinin materyaller aracılığıyla somutlaştırılması öğrenciler tarafından değerli bulunmuştur.

Genel olarak sonuçlar, hikâyeleştirmenin öğrencilerin duyuşsal özellikleri (ilgi, motivasyon, dikkat ve merak) üzerinde daha güçlü bir etkiye sahip olduğunu; etkinlik temelli öğrenmenin ise geometrik özelliklerin keşfedilmesi ve somutlaştırılması açısından öne çıktığını göstermektedir. Bu durum, iki yöntemin birbirini tamamlayıcı nitelikte kullanılmasının geometri öğretiminde daha etkili sonuçlar sağlayabileceğini düşündürmektedir.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bu araştırmada, 7. sınıf dörtgenler konusunun öğretiminde uygulanan hikâyeleştirme ile etkinlik temelli öğrenme yöntemlerinin öğretim süreçlerine katkısı, öğrenci görüşlerine dayalı olarak incelenmiştir. Elde edilen bulgular, her iki öğretim yönteminin öğrencilerin öğrenmelerine olan katkılarını ortaya koymaktadır.

Araştırma bulgularına göre öğrenciler, hikâyeleştirme yöntemini etkinlik temelli öğrenmeye göre daha fazla tercih etmişlerdir. Özellikle derse yönelik olumlu tutum geliştirme, öğrenmeyi eğlenceli hale getirme ve konuyu zihinde canlandırma boyutlarında hikâyeleştirmenin daha etkili olduğu görülmüştür. Literatür incelendiğinde pek çok araştırma sonucu bu araştırma sonuçlarını desteklemektedir. Örneğin; Canbolat, 2023; Özgül, 2023; Sert ve Şimşek, 2023 araştırmasında öğrencilerin çoğunun hikâyeleştirme yöntemi ile ilgili olumlu görüşlere sahip olduklarını, eğlenceli bulduklarını ve motivasyonlarını artırdıklarını tespit etmişlerdir. Özellikle dörtgenler arasındaki hiyerarşik ilişkinin aile metaforu üzerinden sunulması, öğrencilerin geometrik şekiller arasındaki kapsama ilişkilerini daha kolay anlamalarına yardımcı olmuştur. Bu bulgu, hikâyeleştirmenin soyut matematiksel kavramları öğrencilerin zihinde canlandırmasına katkı sağladığını ortaya koyan çalışmalarla paralellik göstermektedir (Özgül, 2023). Hikâyelerle sunulan anlamlı bağlamlar, öğrencilerin yeni bilgileri eski bilgileriyle ilişkilendirmesini sağlar ve kavramsal öğrenmeyi kolaylaştırır.

Çalışmada öğrencilerin büyük çoğunluğu dörtgenleri aile bireyleriyle ilişkilendirerek zihinsel canlandırmalar yaptıklarını belirtmiştir. Bu durum, öğrenme sürecinde metafor ve analojilerin kullanımının öğrencilerin soyut kavramları anlamlandırmalarına katkı sağladığını göstermektedir. Özellikle yamuk, paralelkenar, dikdörtgen ve karenin aile üyeleri olarak kurgulanması, öğrencilerin şekiller arasındaki ortak ve farklı özellikleri daha kolay fark etmelerine yardımcı olmuştur.

Buna ek olarak etkinlik temelli öğrenme, öğrencilerin geometrik özellikleri keşfetmeleri ve yaparak yaşayarak tecrübe etmeleri açısından öne çıkmıştır. Bu sonuç, iki yöntemin birbirine alternatif olmaktan çok birbirini tamamlayıcı nitelikte olduğunu göstermektedir. Öğrenciler özellikle köşegen, açı ve kenar özelliklerini materyaller üzerinde çalışırken fark ettiklerini ifade etmişlerdir. Bu durum, yaparak yaşayarak öğrenme yaklaşımının öğrencilerin kavramsal anlayışlarını geliştirdiğini ortaya koymaktadır. Alanyazında yapılan çalışmalarda etkinlik temelli öğretimin hedefinde öğrencilerin yaparak yaşayarak tecrübe temesine ve öğrenciler arasında iş birliği sağlanmasına katkı sunduğu belirtilmiştir (Batdı, 2014; Kendirci, 2023; Şahingöz, 2024). Öğrencilerin köşegen özelliklerini doğrudan gözlemlemeleri ve test etmeleri, geometrik kuralların ezberlenmesinden ziyade anlamlandırılarak öğrenilmesine katkı sağlamıştır.

Bununla birlikte etkinlik sürecinde bazı öğrencilerin materyal hazırlama, kesme, yapıştırma ve ölçme işlemlerinde çeşitli güçlükler yaşadıkları belirlenmiştir. Ancak öğrencilerin büyük kısmı öğretmen ve akran desteğiyle bu güçlüklerin üstesinden geldiklerini belirtmiştir. Bu sonuç, öğrenme sürecinde rehberliğin ve iş birliğine dayalı öğrenme ortamlarının önemini göstermektedir. Ayrıca yaşanan güçlüklerin öğrencilerin öğrenme sürecine aktif katılımını engellemek yerine problem çözme becerilerini desteklediği söylenebilir.

Sonuç olarak bu araştırma, dörtgenler hiyerarşisinin öğretiminde hikâyeleştirme ve etkinlik temelli öğrenme yöntemlerinin öğrencilerin öğrenmelerini desteklediğini ortaya koymuştur. Hikâyeleştirme yöntemi öğrencilerin dikkat, motivasyon ve kavramsal anlamlandırmalarını desteklerken; etkinlik temelli öğrenme öğrencilerin keşfetme, uygulama ve somutlaştırma süreçlerine katkı sağlamaktadır. Bu nedenle geometri öğretiminde her iki yöntemin birlikte kullanılması, hem duyuşsal hem de bilişsel öğrenme çıktılarının geliştirilmesine katkı sağlayabilir. Buradan hareketle matematik öğretiminde farklı öğretim yaklaşımların birlikte kullanılması gerektiği sonucuna ulaşılabilir.

5. ÖNERİLER

Bu araştırmada, hikâyeleştirme yöntemiyle işlenen geometri (dörtgenler) dersinin öğrencilerin derse yönelik ilgi, merak ve kalıcılık düzeylerine olumlu katkılar sağladığı; soyut geometrik

hiyerarşiyi soyağacı ve kalıtım metaforlarıyla somutlaştırdığı tespit edilmiştir. Bu bulgular doğrultusunda şu öneriler geliştirilmiştir:

- Matematik ve geometri eğitiminde öğrencilerin en çok zorlandığı konulardan biri olan "kapsama ve hiyerarşi" ilişkilerini (örneğin karenin aynı zamanda bir dikdörtgen veya eşkenar dörtgen olması) öğretirken, bu araştırmada kullanılan "dede-baba-torun" veya "gen aktarımı" gibi soyut ilişkileri somutlaştıran aile kurgularından yararlanılabilir.
- MEB matematik müfredatında yer alan soyut ve hiyerarşik kavramlar için disiplinler arası (Matematik-Türkçe) bir yaklaşımla hazırlanmış "Matematiksel Hikayeler" geliştirilmeli ve öğretmen kılavuz kitaplarına örnek kurgular eklenmelidir.
- Hikâyeleştirme ve krallık/aile metaforlarının geometrideki başarısı göz önüne alınarak; gelecekteki araştırmalarda bu yöntemin "sayı kümeleri arasındaki hiyerarşi" (Doğal Sayılar <Tam Sayılar<Rasyonel Sayılar...) gibi diğer soyut matematik konularında da uygulanabilirliği test edilmelidir.
- Bu çalışma öğrencilerin nitel görüşlerine odaklanmıştır. Gelecek çalışmalarda, hikâyeleştirme yönteminin kalıcılığa olan etkisi deneysel yöntemlerle (ön test-son test kontrol gruplu desen) ölçülebilir ve öğrenme hızındaki artış boylamsal araştırmalarla uzun vadeye yayılarak incelenebilir.
- Öğrencilerin çizgi film ve krallık benzetmelerinden (Örn: Ö7, Ö8, Ö13) yola çıkılarak, bu hikâyelerin yapay zekâ araçları veya animasyon programları kullanılarak "Dijital Hikâyelere" dönüştürülmesinin ve multimedya destekli öğrenmenin bilişsel yüke etkisi araştırılabilir

KAYNAKÇA

Altun, Y. (2016). Ortaöğretim matematik öğretiminde geleneksel öğretim ile etkinlik temelli öğretim yöntemlerinin öğrenci başarısı üzerindeki etkisi. *The Journal of Academic Social Science, 4*(27), 466–485.

Altunbay, M., & Soylu, Ş. (2020). Çocuk edebiyatının disiplinler arası öğrenmeye etkisi: Hikâye ile matematik öğrenimi ve bir kitap incelemesi. *Uluslararası Türkoloji Araştırmaları ve İncelemeleri Dergisi, 5*(1), 17–24.

Batdı, V. (2014). Etkinlik temelli öğrenme yaklaşımının akademik başarıya etkisi (meta-analitik ve tematik bir çalışma). *e-International Journal of Educational Research, 5*(3), 39–55.

Canbolat, M. (2023). İlkokul matematik öğretiminde hikâyeleştirme yönteminin matematik başarısına etkisi [Yüksek lisans tezi, Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi].

Çoban, M., & Mert Uyangör, S. (2024). 9. sınıf meslek lisesi öğrencilerinin geometriye yönelik tutumları ve özyeterlilikleri ile Van Hiele geometrik düşünme düzeyleri arasındaki ilişki. İçinde A. Çoruk (Ed.), *Lisansüstü Öğretmen Çalışmaları Kongresi tam metin kitabı* (ss. 9–19). Lisansüstü Öğretmen Çalışmaları Kongresi.

Dağdelen, M. G. (2012). İlköğretim 5. sınıf geometri öğretiminde özel dörtgenlerin kavratılmasında origaminin etkisi [Yüksek lisans tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi].

Dikkartın, F. T. (2006). Geometri öğretiminde 4MAT öğretim modelinin öğrenci başarısı ve tutumları üzerine etkisi [Yüksek lisans tezi, Balıkesir Üniversitesi].

Erdem, Ö., & Sarpkaya Aktaş, G. (2018). Ortaokul 7. sınıf öğrencilerinin cebir öğrenme alanında yaşadıkları kavram yanılgılarının giderilmesinde etkinlik temelli öğretimin değerlendirilmesi. *Turkish Journal of Computer and Mathematics Education, 9*(2), 312–338.

Gürbüz, R., Çatlıoğlu, H., Birgin, O., & Erdem, E. (2010). Etkinlik temelli öğretimin 5. sınıf öğrencilerinin bazı olasılık kavramlarındaki gelişimlerine etkisi: Yarı deneysel bir çalışma. *Gazi Üniversitesi Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 30*(1), 47–66.

Kavaklı, A., Su Özenir, Ö., Özden, D., & Kurt Birel, G. (2023). Geometri öğretiminde yeni yaklaşımlar: Bir TÜBİTAK 4004 projesi sonuçlarının değerlendirilmesi. *Uluslararası Temel Eğitim Çalışmaları Dergisi, 4*(3), 138–151. https://doi.org/10.59062/ijpes.1379845

Kendirci, H. K. (2023). İlköğretim matematik öğretmen adaylarının matematiksel etkinlik kavramı ve etkinliklerle öğretime yönelik görüşlerinin incelenmesi [Yüksek lisans tezi, Gaziantep Üniversitesi].

Korkmaz, F. (2023). Ters yüz öğrenme modeline dayalı öğretim etkinliklerinin sınıf içi uygulamalarından yansımalar [Yüksek lisans tezi, Giresun Üniversitesi].

Küpcü, A. R. (2012). Etkinlik temelli öğretim yaklaşımının ortaokul öğrencilerinin orantısal problemleri çözme başarısına etkisi. *Ahi Evran Üniversitesi Kırşehir Eğitim Fakültesi Dergisi, 13*(3), 175–206.

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

Özgül, V. (2023). Hikâyeleştirme yönteminin yedinci sınıf öğrencilerinin akademik başarılarına, matematiğe yönelik motivasyonlarına ve matematik kaygılarına etkisinin incelenmesi [Yüksek lisans tezi, İstanbul Sabahattin Zaim Üniversitesi].

Özkan, B. N. (2023). Rasyonel sayılar ve rasyonel sayılarda işlemler konusunda etkinlik temelli öğretim yönteminin 7. sınıf öğrencilerinin akademik başarısına ve tutumuna etkisi [Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi].

Özkara, N. (2023). Etkinlik tabanlı matematik öğretiminin 8. sınıf öğrencilerinin derse katılımına ve matematik başarısına etkisi [Yüksek lisans tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi].

Sert, A. ve Şimşek, N. (2023). Sınıf öğretmenleri perspektifinden matematiksel hikâyeler. *Eğitim Bilimleri Çalışmaları*, 1-18.

Subaşı, M. ve Okumuş, K. (2017). Bir araştırma yöntemi olarak durum çalışması. *Atatürk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, *21*(2), 419-426.

Şahingöz, Z. (2024). Etkinlik temelli öğretim ortamının 5. sınıf öğrencilerinin matematik başarısı ve kaygısı üzerine etkisi: Üçgenler ve dörtgenler bağlamında [Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi].

Toptaş, V. (2008). Geometri öğretiminde sınıfta yapılan etkinlikler ile öğretme-öğrenme sürecinin incelenmesi. *İlköğretim Online, 7*(1), 91–110.

Tuncay, A. A. (2019). Etkinlik temelli öğretim yaklaşımının ilkokul birinci sınıf öğrencilerinin matematiksel kavramları öğrenme düzeylerine etkisi. *Turkish Journal of Primary Education, 4*(1), 1–14.

Türk Dil Kurumu. (2026, Mayıs 24). Atatürk ve Türk dili. https://www.tdk.gov.tr/ataturk-ve-turk-dili

Yenil, T. (2026). Etkinlik temelli problem çözme ve kurma öğretiminin altıncı sınıf öğrencilerinin öğrenme sürecine etkisi [Doktora tezi, Bursa Uludağ Üniversitesi].

Yıldırım, A., & Şimşek, H. (2016). *Sosyal bilimlerde nitel araştırma yöntemleri* (10. baskı). Seçkin Yayıncılık.

DİJİTAL SAĞLIK ARAYÜZLERİNDE YAŞLI BİREYLERİN TOPLUMSAL DIŞLANMASI VE BEDENEN DENEYİMLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Hurigül EKEN
Selçuk University, Faculty of Letters, Department of Sociology, 42090, Alaaddin Keykubat Campus, Konya
ORCID ID: *0000-0001-9914-9718*

ÖZET
Bu araştırma, 65 yaş ve üzeri kronik rahatsızlığı bulunan bireylerin Merkezi Hekim Randevu Sistemi (MHRS) ve e-Nabız gibi dijital sağlık arayüzlerini kullanırken karşılaştıkları engelleri ve bu engellerin yol açtığı toplumsal dışlanma pratiklerini incelemeyi amaçlamaktadır. Günümüzde kamu hizmetlerinin hızla dijitalleşmesi verimlilik vaat etse de, yaşlı nüfusun bu altyapılara erişimde yaşadığı sorunlar göz ardı edilmektedir. Araştırmada nitel araştırma yöntemlerinden fenomenoloji deseni benimsenmiş; amaçlı örnekleme tekniklerinden ölçüt örnekleme ile belirlenen 10 yaşlı birey (65-77 yaş arası) ile yarı yapılandırılmış mülakatlar gerçekleştirilmiştir. Elde edilen verbatim deşifre verileri, tematik analiz yaklaşımıyla çözümlenmiş ve Bourdieu (habitus/sembolik şiddet), Goffman (imge yönetimi/damgalanma) ile Foucault'nun (biyo-iktidar/otonomi kaybı) kuramsal araçlarıyla kavramsallaştırılmıştır. Bulgular üç temel temada toplanmaktadır: Birincisi, biyo-teknolojik uyumsuzluk ve bedensel kısıtlılıklardır. Görme kaybı, el titremesi ve zamansal kısıtlar nedeniyle yaşlı bedeni ile arayüz tasarımı arasında derin bir uyumsuzluk yaşanmakta, bireyler bu teknik aksaklığı kendi yetersizlikleri olarak içselleştirerek sembolik şiddete maruz kalmaktadır. İkincisi, etkileşimsel mahcubiyet ve damgalanmadır. Dijital arayüzleri tek başına kullanamayan bireyler yakınlarına ve üçüncü şahıslara bağımlı hale gelmekte, aile içi hiyerarşi altüst olmakta ve "yük olma" kaygısıyla hastalar rahatsızlıklarını gizleme yoluna gitmektedir. Üçüncüsü, biyo-iktidar ve otonomi kaybıdır. Algoritmik yönetimsellik, hastanın kendi tıbbi verisi üzerindeki özerkliğini elinden alarak onu pasif bir veri nesnesine dönüştürmekte, dijital altyapısı olmayanları ise kamusal haklarından mahrum bırakmaktadır. Sonuç olarak, dijital sağlık sistemlerinin nötr bir kolaylık olmadığı, aksine analog başvuru kanallarının daralmasıyla yaşlıları vatandaşlık ve temel sağlık haklarından tecrit eden yapısal bir engel yarattığı saptanmıştır. Yaşlı bireylerin toplumsal entegrasyonunu ve hak erişimini korumak adına çift kanallı hibrit hizmet rejiminin, yaşlı dostu arayüz tasarımlarının ve hastanelerde dijital danışmanlık birimlerinin acilen hayata geçirilmesi gerekmektedir.
Anahtar Kelimeler: *Dijital Sağlık, Yaşlılık, MHRS, e-Nabız, Dijital Dışlanma.*

SOCIAL EXCLUSION AND LIVED EXPERIENCES OF OLDER ADULTS IN DIGITAL HEALTH INTERFACES

ABSTRACT
This study aims to examine the barriers encountered by individuals aged 65 and over with chronic illnesses when using digital health interfaces such as the Central Physician Appointment System (MHRS) and e-Nabız, as well as the social exclusion practices resulting from these obstacles. Although the rapid digitalization of public services promises efficiency, the challenges faced by the aging population in accessing these infrastructures are frequently overlooked. Adopting a phenomenological design from qualitative research methodologies, semi-structured interviews were conducted with 10 older adults (aged 65–77) selected through criterion sampling. The verbatim transcript data were analyzed using thematic analysis and conceptualized through the theoretical frameworks of Bourdieu (habitus/symbolic violence), Goffman (impression management/stigma), and Foucault (biopower/loss of autonomy). The

findings are grouped under three main themes: First, bio-technological mismatch and bodily limitations. Visual impairment, hand tremors, and strict time constraints create a profound incompatibility between the aging body and interface design, leading individuals to internalize technical errors as personal failures and suffer symbolic violence. Second, interactional embarrassment and stigmatization. Inability to navigate interfaces independently forces reliance on family members or third parties, disrupting domestic hierarchies and prompting individuals to conceal illnesses to avoid becoming a burden. Third, biopower and loss of autonomy. Algorithmic governmentality strips patients of control over their medical data, reducing them to passive data objects while depriving those without digital access of public rights. In conclusion, digital health systems are not neutral conveniences; rather, the reduction of analog channels creates a structural barrier that isolates older adults from citizenship and fundamental healthcare rights. Implementing a dual-channel hybrid service framework, age-friendly interface designs, and digital assistance desks in hospitals is imperative to protect the rights of older adults.
Keywords: *Digital Health, Aging, MHRS, e-Nabız, Digital Exclusion.*

1. GİRİŞ

21. yüzyılın ilk çeyreğinde bilgi ve iletişim teknolojilerinde yaşanan niteliksel ve niceliksel sıçrama, kamusal hizmetlerin örgütlenme ve sunum biçimlerini köklü bir dönüşüme uğratmıştır (Castells, 2013). Neoliberal yönetim anlayışının kamu yönetiminde verimlilik, hız ve bürokrasiyi azaltma hedefleriyle birleşen bu süreç, sağlık sektörünü dijital dönüşümün en radikal uygulandığı alanlardan biri haline getirmiştir (Clarke ve ark., 2010). Kamu yönetimi reformlarının odağına yerleştirilen "e-devlet" ve "e-sağlık" uygulamaları, vatandaşa sunulan kamusal hizmetlerin fiziksel mekânlardan algoritmik ve veri tabanlı dijital platformlara kaydırılmasını beraberinde getirmiştir (Lupton, 2014).

Türkiye bağlamında bu dönüşüm, Sağlıkta Dönüşüm Programı (SDP) kapsamında hayata geçirilen Merkezi Hekim Randevu Sistemi (MHRS) ve kişisel sağlık kaydı mimarisi olan e-Nabız uygulamaları ile somutlaşmıştır (Yorulmaz, Odacı ve Akkan, 2018). Başlangıçta alternatif ve kolaylaştırıcı birer ikincil kanal olarak kurgulanan bu dijital sistemler, zaman içerisinde birinci ve ikinci basamak sağlık kurumlarına erişimin temel, hatta pek çok durumda yegâne ve zorunlu ön koşulu haline gelmiştir. Hastanelerdeki fiziksel randevu matriklerinin ve sıra alma bankolarının kademeli olarak kapatılması, telefonla randevu hattının yoğunluk ve maliyet kısıtları nedeniyle ikincilleşmesi, bireyleri akıllı telefonlar ve web arayüzleri üzerinden işlem yapmaya zorlamaktadır.

Ancak teknolojinin tarafsız, araçsal, herkes için eşit ve evrensel bir imkân sunduğu yönündeki teknolojik determinist ve modernist söylem, toplumsal yapının hiyerarşik, eşitsiz ve tabakalaşmış doğasını göz ardı etmektedir (Winner, 1980; Selwyn, 2012). Teknolojik altyapıların, yazılımların ve kullanıcı arayüzlerinin (UI/UX) tasarımı; dijital okuryazarlığı yüksek, bilişsel ve fizyolojik becerileri keskin, dokunmatik ekran teknolojilerine aşina, teknolojik aygıtlara erişim sermayesine sahip, genç veya orta yaşlı kentli bir "ideal kullanıcı" profilini zımnen varsaymaktadır. Sistem tasarımlarındaki bu örtük normativite, varsayılan kullanıcı profilinin dışında kalan toplumsal kesimleri özellikle yaşlı bireyleri sistemik bir biçimde hiyerarşinin alt basamaklarına itmektedir. Teknolojik altyapının bu dışlayıcı yapısı, sağlık hizmeti gibi en temel yaşam ve vatandaşlık hakkına erişimde "dijital eşitsizlikler" üzerinden yeni kırılganlık ve mağduriyet alanları inşa etmektedir (Van Dijk, 2005).

Bu bağlamda **bu araştırmanın konusu**; sağlık hizmetlerinin dijitalleştirilmesi sürecinde, yaşlı bireylerin karşılaştığı yapısal engelleri, bu engellerin toplumsal dışlanma ve damgalanma üzerindeki etkilerini ve dijital arayüzler ile yaşlı beden arasındaki biyo-teknolojik

uyumsuzluğun yarattığı deneyimleri sosyolojik bir perspektifle incelemektir. **Araştırmanın önemi**, dijitalleşme politikalarının teknik ve nötr süreçler olarak ele alınamayacağını; aksine yaşlı nüfus gibi dezavantajlı gruplar açısından nasıl birer yapısal dışlanma ve sembolik şiddet mekanizmasına dönüşebileceğini ampirik ve kuramsal düzeyde görünür kılmasında yatmaktadır. Mevcut literatürde dijital uçurumlar genellikle mülkiyet ve erozyona uğramış beceriler ekseninde tartışılırken, bu çalışma konuyu **bedensel deneyim**, **habitus** ve **biyo-iktidar** ekseninde derinleştirerek literatüre özgün bir katkı sunmayı hedeflemektedir.

Araştırmanın amacı, yaşlı bireylerin dijital sağlık arayüzleri (MHRS, e-Nabız vb.) karşısında yaşadıkları otonomi kaybını, mahcubiyet ve damgalanma kaygılarını, Bourdieu, Goffman ve Foucault'nun sosyolojik kuramları aracılığıyla analiz etmek ve bu sürecin özne üzerindeki psiko-sosyal yansımalarını ortaya koymaktır. Çalışma, Türkiye'de sağlık hizmetlerinin dijitalleşmesi ve yaşlılık olgusunun kesişim kümesiyle sınırlı olup; coğrafi olarak kentsel alanda yaşayan ve dijital sağlık okuryazarlığı sınırlı olan 65 yaş ve üzeri bireylerin deneyimleriyle **sınırlıdır**.

Kavramsal Çerçeve

1.1. Yaşlanma, Bedensellik ve Biyo-Teknolojik Uyumsuzluk

Yaşlanma Olgusunun Boyutları: Yaşlanma; kronolojik bir sınırın (genellikle 65 yaş ve üzeri) ötesinde biyolojik, psikolojik, toplumsal ve mekânsal boyutları bulunan karmaşık bir süreçtir (Marshall ve Mortimer, 2009, s. 60-68).

Başlıca Fizyolojik Değişimler:

Görsel Algı Kayıpları: *Görme keskinliğinde azalma, presbiyopi, kontrast duyarlılığının düşmesi, renk ayırt etme güçlüğü ve ışık değişimlerine uyum hızının yavaşlaması (Kline ve Scialfa, 1996, s. 110-115).*

İnce Motor Beceri Kayıpları: *Osteoartrit deformasyonları, kas gücü kaybı, el tremorları ve eklem sertlikleri nedeniyle küçük nesneleri kavrama ve hassas dokunuş yapabilme yeteneğinin zayıflaması (Charness ve Boot, 2009, s. 253-260).*

Bilişsel ve Algısal Yavaşlama: *Kısa süreli bellek kapasitesinde daralma, eşzamanlı çoklu uyaranları işleme güçlüğü, karmaşık menülerde yönelim kaybı ve karar alma sürelerinin uzaması (Salthouse, 2000, s. 35-42).*

Arayüz Tasarımındaki Çelişkiler: *Güncel dijital sağlık arayüzleri; daraltılmış font boyutları, karmaşık açılır menüler, zaman sınırlamalı oturum güvenlikleri (timeout), CAPTCHA doğrulama kodları ve çok adımlı doğrulama (SMS/OTP) mekanizmaları üzerine kuruludur (Nielsen, 2020, s. 89-94).*

Biyo-Teknolojik Uyumsuzluk ve Travma: *Fizyolojik olarak yıpranmış beden ile yüksek hız ve hassasiyet talep eden arayüz arasındaki bu yapısal uyumsuzluk, klasik dijital uçurum kavramlarını aşarak bireyin kendi bedenini "kusurlu", "yavaş" ve "engelli" tecrübe etmesine yol açar (Lupton, 2016, s. 72-78). Bu bedensel engellenme, bireyin özsaygısını zedeleyen derin bir psikososyal travmaya dönüşmektedir (Gatz ve ark., 2006, s. 140-148).*

1.2. Araştırmanın Kuramsal Temelleri

1.2.1. Bourdieu: Dijital Habitus, Sermaye Dönüşümü ve Sembolik Şiddet

Habitus Kavramı: Pierre Bourdieu'nün (2015, s. 78-82) sosyolojik teorisinde **habitus**; bireyin içine doğduğu toplumsal, ekonomik ve tarihsel koşullar aracılığıyla içselleştirdiği, bedenleşmiş algılama, düşünme, hissetme ve eyleme yatkınlıklar sistemidir. Bireyin toplumsal alandaki manevra kabiliyeti ise elinde bulundurduğu ekonomik, kültürel, sosyal ve simgesel sermaye türlerinin hacmine ve bileşimine bağlıdır (Bourdieu, 2011, s. 45-50).

Dijital Habitus ve Sermaye Dönüşümü: *Günümüz dijital sosyoloji literatüründe bu çerçeve genişletilerek **"dijital habitus"** ve **"dijital sermaye"** kavramları geliştirilmiştir (Lupton, 2014, s. 12-19; Ragnedda, 2018, s. 34-40). Teknolojinin bulunmadığı bir dönemde toplumsallaşan ve*

habitusları analog pratiklerle biçimlenen yaşlı bireyler, dijital habitustan yoksundur. Sağlık gibi kritik bir alanda dijital sermaye tek meşru erişim aracı haline getirildiğinde, yaşlı bireyler devasa bir simgesel sermaye yoksunluğu ile baş başa kalmaktadır.

Sembolik Şiddet ve Yapısal İçselleştirme: *Fiziksel sıra alma ve yüz yüze iletişimin kısıtlanarak bireylerin dijital platformlara zorunlu kılınması, Bourdieu'nün (2014, s. 112-115) kavramsallaştırmasıyla* ***sembolik şiddet*** *olgusunu doğurur. Sembolik şiddet, ezilenlerin kendi dışlanma koşullarını "doğal", "kaçınılmaz" ve "çağın gereği" olarak kabul ettikleri tahakküm biçimidir. Sağlık hizmetine erişemeyen yaşlı birey, suçu sisteme değil kendi "cahiliyetine" ve "yaşlılığına" yüklemekte; böylece yapısal bir eşitsizlik, bireysel bir yetersizlik olarak içselleştirilmektedir.*

1.2.2. Goffman: İmge Yönetimi, Mahcubiyet ve Damgalanma Kaygısı

Dramaturjik Sosyoloji ve Yüz Koruma: Erving Goffman'ın (2014, s. 15-28) dramaturjik sosyolojisi ve damgalanma kuramı, bireylerin toplumsal etkileşim sahnelerinde nasıl bir **"benlik sunumu"** gerçekleştirdiklerini ve saygın bir toplumsal aktör imgesini korumak için hangi stratejilere başvurduklarını inceler. Bireyler, başkalarının gözündeki "kendi kendine yeten, akılcı ve becerikli" imgelerini korumak için sürekli bir **"yüz koruma"** çabası içerisindedirler (Goffman, 2014, s. 31-35).

Dijital Başarısızlık ve Stigma Tehlikesi: *Yaşlılık dönemi, fizyolojik ve sosyal kayıplar nedeniyle bağımlılık riskinin arttığı, toplumsal rollerin zayıfladığı ve "başkalarına yük olma" kaygısının en üst düzeye çıktığı hassas bir evredir. Dijital sağlık arayüzlerinde tecrübe edilen aksaklıklar (şifreyi yanlış girme, oturumun zaman aşımına uğraması vb.) yaşlı birey için basit bir teknik hata değil; çevreleri karşısında "çağın gerisinde kalmış" ve "yardıma muhtaç" olarak etiketlenme* ***(damgalanma/stigma)*** *tehlikesidir (Goffman, 2014, s. 45-52; Goffman, 2018, s. 19-24).*

Saklanma ve Sağlığı Riske Atma Stratejisi: *Zedelenmiş bir kimlik imgesiyle sahneye çıkmanın yarattığı mahcubiyetten ve yakınlarının sitemkâr jestlerinden kaçınmak amacıyla yaşlı birey, izlenim yönetimi stratejisi olarak* ***saklanma ve geri çekilme*** *yolunu seçer (Goffman, 2014, s. 60-65). Birey yardım istemekten vazgeçmekte; bu durumun trajik bir sonucu olarak sağlık sorunlarını gizlemekte, doktora gitmeyi ertelemekte veya tahlil sonuçlarını takip etmeyerek kendi sağlığını tehlikeye atmaktadır.*

1.2.3. Foucault: Biyo-İktidar, Algoritmik Yönetimsellik ve Otonomi Kaybı

Biyo-İktidar ve Tıp Kurumu: Michel Foucault'nun (2016, s. 140-145) teorisinde **biyo-iktidar**; modern devletlerin insan bedenini, nüfusu, sağlığı, doğumu ve ölümü denetlemek, düzenlemek ve disipline etmek amacıyla geliştirdiği iktidar teknolojilerini ifade eder. Tıp kurumu, klinik bakış ve sağlık politikaları, biyo-iktidarın toplumsal beden üzerinde en somut işlediği disipliner alanlardır (Foucault, 2015, s. 55-68).

Algoritmik Yönetimsellikte Dönüşüm: *Sağlık hizmetlerinin dijitalleşmesiyle birlikte biyo-iktidar yeni bir boyut kazanarak* ***"algoritmik yönetimsellik"*** *halini almıştır (Lupton, 2019, s. 88-95; Williamson, 2015, s. 120-125). İktidar artık fiziki hastane koridorlarından veya doktorun muayenehanesinden çıkmış; dijital veri ağlarına, erişim kodlarına, onay butonlarına ve sistem algoritmalarına kaymıştır.*

Otonomi ve Eylemlilik (Agency) Kaybı: *Bedenin dijital veri paketleri üzerinden yönetildiği bu yeni biyo-politik rejimde, arayüzü doğrudan kullanma becerisine sahip olmayan yaşlı birey, kendi sağlığı ve bedeni üzerindeki* ***otonomisini (özerkliğini) tamamen kaybetmektedir*** *(Foucault, 2016, s. 180-185). Kendi tahlil sonucunu göremeyen, reçete koduna ulaşamayan yaşlı birey, süreçleri üçüncü kişilere (evlatlar, komşular, danışma görevlileri) devretmek zorunda kalmakta; böylece bedenine dair söz, denetim ve eylemlilik (agency) hakkını yitirerek sistemin bağımlı bir nesnesine dönüşmektedir (Foucault, 2015, s. 110-114).*

2. YÖNTEM

2.1. Araştırmanın Felsefi Metodolojisi ve Deseni

Bu araştırmada, yaşlı bireylerin dijital sağlık arayüzlerini tecrübe ederken karşılaştıkları bedensel, duygusal ve toplumsal sınırlılıkları kendi öznel dünyaları üzerinden nasıl anlamlandırdıklarını ortaya koymak amacıyla nitel araştırma yaklaşımlarından **fenomenoloji** deseni benimsenmiştir.

Fenomenolojik yaklaşım, bireylerin belirli bir olguya ilişkin canlı deneyimlerini, bu deneyimlere yükledikleri anlamları ve öznel algılama biçimlerini derinlemesine incelemeyi hedefler. Araştırmanın odaklandığı temel olgu; 65 yaş ve üzeri kronik rahatsızlığı bulunan bireylerin MHRS ve e-Nabız gibi dijital sağlık arayüzleriyle teması sırasında yaşadıkları bedensel yetersizlik hissi ve bu hissin yol açtığı toplumsal dışlanma pratikleridir.

Nitel araştırmanın doğasına uygun olarak, araştırmacı bu süreçte "paranteze alma" ilkesini gözetmiş; kendi ön yargılarını ve teorik kabullerini saha verisinden ayrı tutarak katılımcıların öznel deneyim dünyalarını kendi sesleriyle görünür kılmaya odaklanmıştır.

2.2. Çalışma Grubu ve Örneklem Tasarımı

Araştırmanın çalışma grubu, nitel araştırma metodolojisine uygun olarak amaçlı örnekleme (purposive sampling) stratejilerinden **"ölçüt örnekleme"** tekniği kullanılarak oluşturulmuştur. Ölçüt örnekleme, belirlenen teorik ve pratik kriterleri karşılayan durumların ve bireylerin derinlemesine incelenmesine olanak tanır.

Araştırmaya dâhil edilecek katılımcılar için belirlenen temel ölçütler şunlardır:

1. **Yaş Ölçütü:** 65 yaş ve üzerinde olmak (araştırmanın yaş ölçütü olarak).
2. **Sağlık Durumu Ölçütü:** En az bir kronik rahatsızlığa (hipertansiyon, diyabet, KOAH, kireçlenme vb.) sahip olmak ve düzenli/rutin sağlık hizmeti ve reçete takibine ihtiyaç duymak.
3. **Dijital Arayüz Temas Ölçütü:** MHRS veya e-Nabız gibi dijital sağlık arayüzlerini bizzat kullanmayı denemiş olmak ya da bu sistemleri bir yakınının (çocuk, torun, komşu) aracılığıyla/vekâletiyle kullanmak zorunda kalmış olmak.
4. **Bilişsel Yetkinlik:** Mülakat sürecini sürdürebilecek, deneyimlerini aktarabilecek bilişsel ve sözel yetkinliğe sahip olmak.
5. **Gönüllülük:** Araştırmaya katılımda bilgilendirilmiş gönüllü onam formunu imzalamak/onaylamak.

Saha çalışmasında veri toplama süreci **"veri doygunluğu"** ilkesi çerçevesinde yürütülmüştür. Mülakatlar ilerledikçe yeni kod ve temaların ortaya çıkmadığı, ifadelerin birbirini tekrarlamaya başladığı 10. mülakat itibarıyla saha çalışması sonlandırılmıştır.

Katılımcıların Sosyo-Demografik Özellikleri

Katılımcı Kodu	Cinsiyet	Yaş	Eğitim Düzeyi	Meslek / Sosyal Statü	Yaşadığı Yer / Barınma	Günlük Dijital Araç Kullanım Sıklığı
K1	Erkek	71	Üniversite	Emekli Öğretmen	Eşiyle Yaşıyor	Günde 1-2 Saat (Sadece Haber/WhatsApp)
K2	Kadın	72	İlkokul	Ev Hanımı	Yalnız Yaşıyor	Nadiren (Sadece Telefon Araması)
K3	Erkek	65	İlkokul	Emekli Terzi	Eşi ve Oğluyla	Günde 2-3 Saat (Sosyal Medya)
K4	Kadın	67	Okur-Yazar	Ev Hanımı	Eşiyle Yaşıyor	Arada Bir (Çocukların Yardımıyla)
K5	Erkek	70	İlkokul	Emekli Çiftçi	Eşiyle Yaşıyor	Tuşlu Telefon Kullanıyor
K6	Kadın	65	İlkokul	Ev Hanımı	Kızıyla Yaşıyor	Günde 1 Saat (Videolar/Dini İçerik)

K7	Erkek	75	Ortaokul	Emekli Memur	Eşiyle Yaşıyor	Akıllı Telefon Var / Uygulama Kullanamıyor
K8	Kadın	68	Ortaokul	Emekli Hemşire	Yalnız Yaşıyor	Günde 2 Saat (Haber/Sosyal Ağlar)
K9	Erkek	70	Lise	Emekli Esnaf	Eşiyle Yaşıyor	Günde 1 Saat
K10	Kadın	77	İlkokul	Ev Hanımı	Oğluyla Yaşıyor	Dijital Araç Kullanmıyor

2.3. Veri Toplama Aracı ve Saha Süreci

Araştırmanın verileri, araştırmacı tarafından ilgili literatür ve Bourdieu, Goffman, Foucault'nun kuramsal yaklaşımları dikkate alınarak geliştirilen **"Yarı Yapılandırılmış Mülakat Formu"** aracılığıyla toplanmıştır. Yarı yapılandırılmış mülakatlar, bir yandan araştırmacıya esnek bir çerçeve sunarken diğer yandan katılımcının kendi deneyim alanını özgürce açmasına imkân tanır.

Mülakat formu 4 temel eksenden oluşmaktadır:

Giriş ve Sosyo-Demografik Boyut: *Yaş, kronik hastalık geçmişi, gündelik hayat rutinleri ve teknolojiyle tanışma öyküsü.*

Bedensel ve Fizyolojik Deneyimler: *Ekran kullanımı, dokunma, görme, kod girme ve küçük yazı/buton takibinde yaşanan fiziksel engeller.*

Etkileşimsel ve Duygusal Boyut (İmge Yönetimi): *Aile bireylerinden veya üçüncü kişilerden yardım isterken hissedilen mahcubiyet, yük olma kaygısı, yetersizlik ve bağımlılık duyguları.*

Hak ve Hizmet Birlikteliği (Otonomi ve Şiddet): *Hastanelerden randevu alamama, tahlil/reçete takibinde yaşanan tıkanıklıklar, kamusal hizmetten dışlanmışlık hissi.*

Saha çalışması, katılımcıların kendilerini en güvende ve rahat hissettikleri kendi ev ortamlarında veya sessiz kamusal alanlarda yüz yüze gerçekleştirilmiştir. Mülakatlar ortalama 45 ila 70 dakika arasında sürmüş; tüm görüşmeler katılımcıların açık onamı ile ses kayıt cihazına kaydedilmiş ve eş zamanlı saha notları tutulmuştur.

2.4. Verilerin Analizi, Geçerlik ve Güvenirlik

Ses kayıtları, herhangi bir düzeltme veya özetleme yapılmaksızın harfiyen (verbatim) yazıya geçirilerek toplam 142 sayfalık ham deşifre metni elde edilmiştir. Verilerin çözümlenmesinde **Braun ve Clarke (2006)** tarafından geliştirilen altı aşamalı **"Tematik Analiz"** yöntemi izlenmiştir:

1. **Verilere Aşina Olma:** Deşifre metinlerinin defalarca okunması ve genel örüntülerin tespiti.
2. **İlk Kodların Oluşturulması:** Metinler üzerinde satır satır kodlama yapılması (örneğin: *parmak titremesi*, *şifre unutma*, *çocuğa mahcup olma*, *kapıdan dönme*).
3. **Temaların Aranması:** Kodların teorik çerçevelerle (Bourdieu, Goffman, Foucault) diyalektik bir ilişki içinde üst kategorilerde/temalarda birleştirilmesi.
4. **Temaların Gözden Geçirilmesi:** Temaların hem kodlanan veri parçalarıyla hem de tüm veri setiyle uyumunun kontrol edilmesi.
5. **Temaların Tanımlanması ve Adlandırılması:** 3 ana temanın kuramsal sınırlarının netleştirilmesi.
6. **Raporlaştırma:** Doğrudan alıntılarla verinin teorik çözümlemesinin kaleme alınması.

Geçerlik ve Güvenirlik Önlemleri

Katılımcı Sesi: Deşifre metinlerinin özeti katılımcılara teyit ettirilmiş, anlatmak istedikleriyle örtüşüp örtüşmediği kontrol edilmiştir.

Zengin Doğrudan Alıntılar: *Analiz bölümünde araştırmacının yorumundan çok katılımcıların ham ifadelerine geniş yer verilerek "aktarılabilirlik" artırılmıştır.*

Akran İncelemesi: *Kodlama anahtarları ve tema haritaları nitel araştırma uzmanı akademik*

bir akran ile paylaşılarak kodlama güvenirliği sağlanmıştır.

3. BULGULAR VE ÇÖZÜMLEME

Bu bölümde, yaşlı bireylerin dijital sağlık arayüzlerini (MHRS, e-Nabız) kullanırken tecrübe ettikleri sınırlılıklar ve toplumsal dışlanma pratikleri; 10 katılımcıdan elde edilen geniş deşifre metinleri üzerinden Bourdieu, Goffman ve Foucault'nun kuramsal araçlarıyla derinlemesine çözümlenmiştir.

Tema 1: Biyo-Teknolojik Uyumsuzluk ve Bedensel Kısıtlılıklar

1.1. Görme Kayıpları, Titreşimler ve Arayüz Tasarımının Dışlayıcılığı

Dijital arayüzlerin küçük font boyutları, hızlı zaman kısıtları ve hassas dokunmatik ekran yapısı, yaşlanan bedenin fizyolojik gerçekliğiyle çatışmaktadır.

"Telefonun ekranına bakıyorum, beyaz zemin üstüne küçücük mavi yazılar yazmışlar. Benim gözümde presbiyopi var, astigmat var, katarakt ameliyatı oldum yeni. Yakın gözlüğümü takıyorum, yetmiyor. Işığı artırıyorum, bu sefer gözümü alıyor, hiçbir şey göremiyorum. Randevu almak için poliklinik seçeceğim, liste aşağı doğru uzayıp gidiyor. Yazılar o kadar küçük ki 'Dahiliye' ile 'Dermatoloji'yi ayırt edene kadar ekrandaki oturum kapanıyor. 'Süre aşımına uğradınız' diye bir uyarı çıkıyor kırmızıyla, hadi sil baştan… Benim bedenim artık o hızı yakalayamıyor ki. Gözüm seçene kadar sistem beni dışarı atıyor. Kendimi tamamen körleşmiş ve işe yaramaz hissediyorum." ***(K1, Erkek, 71, Emekli Öğretmen)***

K1'in tecrübesi, arayüz tasarımının "ideal/varsayılan kullanıcı" normuna göre kurgulandığını; bu durumun yaşlanan bedeni sistemik biçimde dışarıda bıraktığını gösterir. Oturum süresi kısıtı (timeout), biyo-iktidarın zaman disiplinini simgelerken; K1 bu teknik kısıtı kendi yetersizliği gibi algılayarak Bourdieu'cü anlamda ***sembolik şiddeti*** *içselleştirmektedir.*

"Benim ellerimde romatizma var, parmak boğumlarım şiş. Bir de yaşlılıktan elim hafif titriyor. Telefonu elime aldığımda randevu saatini seçeceğim, atıyorum saat 10:00'a basacağım, parmağımın ucu kalın kaldığı için ya 10:30'a basıyor ya da yanındaki 'İptal' butonuna değiyor. Bir basışta iki yere birden değiyor ekran. Hemen sistem uyarı veriyor 'Yanlış seçim yaptınız' diye. Bir keresinde hastane randevusu alayım derken yanlışlıkla tamamen sistemden çıktım, bütün girdiğim bilgiler silindi. Torunuma gösterdim, 'Dede parmağını çok basılı tutuyorsun, hafifçe dokunup çekeceksin' diyor. Ben o ayarı yapamıyorum ki! Benim parmağım narin değil ki artık, sertleşmiş, nasırlı, kireçlenmiş. Ekran beni istemiyor, 'Senin parmağın bana uygun değil' diyor adeta." ***(K3, Erkek, 65, Emekli Terzi)***

K3'ün "Ekran beni istemiyor" ifadesi, teknolojinin nötr bir araç olmadığını, belirli bir bedensel formu norm kabul ettiğini göstermektedir. Goffman'ın dramaturjik teorisi açısından bakıldığında, K3 yetkin bir yetişkin olarak kendi işini görme gayretindedir; fakat yaşlanan ve işlev kaybına uğrayan elleri onun bu benlik sunumunu akamete uğratmakta ve bedeni, sistemin karşısında "kusurlu bir organ" olarak konumlandırılmaktadır.

1.2. Güvenlik Bariyerleri ve Somutluk Arayışı

Algoritmik güvenlik önlemleri (CAPTCHA) ve dijital onay mekanizmaları, yaşlı bireylerde bilişsel yük oluşturmakta ve derin bir emniyetsizlik duygusu yaratmaktadır.

"E-Devlet'e girerken ekrana yamuk yumuk harfler, sayılar koyuyorlar. Güvenlik kodumu neymiş… Karalamışlar resmen harflerin üzerini. Küçük 'o' mu, büyük 'O' mu, sıfır mı anlaşılmıyor. Onu doğru yazacağım diye büyüteçle bakıyorum telefona. Tam yazıyorum, bu sefer telefonuma SMS geliyor '6 haneli kodu 1 dakika içinde girin' diye. Ekrana gelen SMS'e bakmak için uygulamadan çıkıyorum, kodu kafamda tutamıyorum, unutuyorum o an. Geri randevu sayfasına döndüğümde sayfa yenilenmiş oluyor, kodun süresi bitiyor. Bir randevu almak için üç kere şifre yenilemek zorunda kaldım. En sonunda fırlattım attım telefonu kenara. Tansiyonum fırladı 18'e çıktı hırstan. Ben hasta halimle bir de bu kodlarla mı uğraşacağım?"

(K7, Erkek, 75, Emekli Memur)

Foucault'nun biyo-iktidar ve disipliner iktidar analizinde olduğu gibi, bireyin sağlık hizmetine ulaşabilmesi için kendisini algoritmik denetim mekanizmalarına (şifreler, kodlar, süre kısıtları) teslim etmesi gerekmektedir. K7 örneğinde görüldüğü üzere, dijital sistemlerin güvenlik ve hız öncelikli yapısı, yaşlı bireyin biyolojik sağlığını (tansiyon yükselmesi, öfke) bizzat riske atan bir faktöre dönüşmektedir.

"Eskiden hastaneye giderdik, danışmadaki memur bize bir kâğıt verirdi. Üstünde numaramız yazardı, saatimiz yazardı. O kâğıdı cebime koyardım, içim rahat ederdi. 'Tamam, benim sıram garanti' derdim. Şimdi telefondan bir şeye basıyorsun, ekran kapanıyor. Aldım mı randevuyu, almadım mı? Onaylandı mı, olmadı mı? Elinde hiçbir şey yok. Ne kâğıt var ne damga. Tam randevu saatinde hastaneye gidiyorum, meğer en son 'Onayla' butonuna basmamışım, işlem havada kalmış. Kapıdaki görevli 'Amca randevun yok ki senin' deyip geri çevirdi beni. O gün doktorun kapısından eli boş döndüm. Dokunamadığım, elimle tutamadığım şeye güvenemiyorum." ***(K9, Erkek, 70, Emekli Esnaf)***

K9'un tecrübesi, Bourdieu'cü anlamda "analog habitus" ile "dijital altyapı" arasındaki çatışmayı gözler önüne serer. Katılımcının somut metinler (kâğıt fiş, mühür) üzerinden geliştirdiği güvenlik ve geçerlilik algısı, dijital arayüzün soyut doğası karşısında işlevsiz kalmakta; bunun sonucunda hasta, en temel hizmete erişememektedir.

Tema 2: Etkileşimsel Mahcubiyet, Yük Olma Kaygısı ve Damgalanma

2.1. Aile İçi Bağımlılık ve Simgesel Utanç

Arayüzleri tek başına kullanamayan yaşlı bireyler, aile fertlerinden (çocuklar, torunlar) sürekli yardım istemek zorunda kalmakta; bu durum bir "yük olma" hissi ve imge zedelenmesi yaratmaktadır.

"Oğluma kaç kere 'şu e-Devlet'ten randevu al' diyeceğimi şaşırdım. Her defasında 'baba yine mi yapamadın, kaç kere gösterdim' diye söyleniyor. Yüzüm kızarıyor, kendimi yük gibi ediyorum. Benim gençliğimde ailemde kimse benden habersiz adım atamazdı, şimdi bir doktor sırası için çocukların ağzının içine bakıyorum. Artık ağrım olsa da demiyorum kimseye. Ağrı kesici içip oturuyorum evde, yeter ki kimseye muhtaç duruma düşmeyeyim, laf duymayayım." ***(K5, Erkek, 70, Emekli Çiftçi)***

*K5'in anlatısı, Goffman'ın **izlenim yönetimi** ve **stigma/damgalanma** kuramını somutlaştırır. Yaşlı birey, yetersizlik etiketi yemekten ve "başkasına yük olma" durumundan kaçınmak için kendi hastalığını gizlemekte, sağlık hakkından feragat ederek bir geri çekilme stratejisi benimsemektedir.*

"Kızıma diyorum 'Kızım benim dizlerim çok ağrıyor, bir randevu al.' O an meşgul oluyor, 'Tamam anne bakarız' diyor, unutuyor. İki gün geçiyor, soramıyorum da tekrar, 'Yine mi başladı bunun dırdırı' der diye korkuyorum. Eskiden kendim çıkar, sabahın köründe gider sıramı alırdım, işimi görürdüm. Şimdi kızımın keyfini bekliyorum. Teknoloji bizi çocukların elinde oyuncak etti. Kendi evimde, kendi bedenimle elin ağzına bakar hale geldim. Bir şey diyemiyorsun ki, onlar da haklı, işleri güçleri var." ***(K4, Kadın, 67, Ev Hanımı)***

K4, aile içerisindeki otonomi kaybını ve dijital sermaye yoksunluğunun yarattığı bağımlılık ilişkisini açıkça ifade etmektedir. Yaşlı kadın, uğradığı bu hak kaybını ve bağımlılığı "Onlar da haklı" diyerek meşrulaştırmakta ve sembolik şiddetin taşıyıcısı haline gelmektedir.

2.2. Kamusal Alan Yabancılaşması ve Vekalet Sınırlılığı

Dijital arayüzlerin dolaylı kullanımı, bireyin doğrudan muhataplık statüsünü ortadan kaldırarak kamusal alandan silinmesine yol açmaktadır.

"Komşunun kızına rica ettim bir kere. 'Kızım benim gözüm görmüyor, şu e-Nabız'a bakıver' dedim. Telefonu aldı, girdi sistemime. Bütün tahlillerim, eski hastalıklarım, kullandığım ilaçlar ekranında açıldı. Çok utandım… Benim özelim o, hangi doktora gittiğimi, ne hastalığım

olduğunu niye elin kızı görsün ki? Ama mecburum, kendim giremiyorum ki. Sistem seni mahremiyetinden ediyor. Kendi sağlığının mahremini koruyamıyorsun." ***(K6, Kadın, 65, Ev Hanımı)***

Foucault'cu çerçevede veri tabanlarına işlenen biyolojik veriler, bireyin mahrem alanını algoritmik kontrolün nesnesi yapar. K6, dijital sermaye yoksunluğu nedeniyle bu verileri 3. kişilere açmak zorunda kalmakta, bu durum mahremiyet kaybı ve toplumsal utanç duygusu doğurmaktadır.

"Ben emekli hemşireyim, yıllarca hastanelerde çalıştım, sistemin içindeydim. Ama bu dijitalleşme geldikten sonra kendimi bir yabancı gibi hissetmeye başladım. Hastaneye gidiyorum, her yer dokunmatik ekranlar, QR kodlar, otomatlar. Danışmadaki genç kızlara soru soruyorum, 'Teyze telefondan halledeceksin, buradan yapamıyoruz' diyorlar kestirip atarak. Yıllarca hizmet verdiğim hastanenin koridorunda bir hiç gibi kalakaldım. Mesleki birikimimin, tecrübemin hiçbir hükmü kalmamış. Dijital tuşlara basamıyorsan yoksun." ***(K8, Kadın, 68, Emekli Hemşire)***

K8 örneğinde, geçmişte elde edilmiş güçlü "kültürel ve mesleki sermayenin", dijital alanın dönüşümüyle birlikte "dijital sermaye" karşısında nasıl değersizleştiği görülmektedir. K8, kurumsal mekânda yabancılaşma ve tam bir simgesel sermaye kaybı tecrübe etmektedir.

Tema 3: Biyo-İktidar, Algoritmik Yönetimsellik ve Otonomi Kaybı

3.1. Beden Üzerindeki Eylemliliğin Feshi

Algoritmik sistemler, yaşlı hastanın kendi bedenine dair bilgiye doğrudan erişimini engelleyerek onu edilgen bir "veri nesnesi"ne dönüştürmektedir.

"Eskiden doktora gider, kâğıdımı alırdım, neyim var neyim yok doktor yüzüme söyler anlatırdı. Şimdi diyorlar 'e-Nabız'a yüklendi, oradan bakarsın.' Benim ne akıllı telefonum var ne internetim. Doktorun ne yazdığını, kanımın ne çıktığını kızıma sormadan öğrenemiyorum. Kendi hastalığımın ne olduğunu bile başkasının ekranından öğrenmek zorunda kalıyorum, sanki kendi bedenim benim değilmiş gibi. Bedenim benim ama bilgisi başkasının elinde." ***(K2, Kadın, 72, Yalnız Yaşıyor)***

Foucault'nun biyo-iktidar kuramı doğrultusunda; tıbbi bilgi, fiziksel dokümandan algoritmik veri tabanlarına taşındığında, okuryazarlığı olmayan yaşlı birey kendi bedeninin bilgisi üzerindeki denetimini tamamen kaybetmektedir. Bireyin öznel otonomisi feshedilmektedir.

"Benim hiç telefonum olmadı, tuşlusunu bile kullanmam. Hastaneye gitmek için oğlumun işten izin alıp beni götürmesi lazım. O randevu alamazsa ben evde oturuyorum. Sistem diyor ki 'Dijitalin yoksa hastaneye de gelemezsin.' Peki biz insan değil miyiz? Bizim yaşama, tedavi olma hakkımız yok mu? Yaşıyoruz ama sistemde adımız yok. Beni sistem dışına itmişler, haberim yok." ***(K10, Kadın, 77, Oğluyla Yaşıyor)***

K10'un ifadesi, dijital dışlanmanın en radikal boyutunu gösterir. Dijital arayüze erişimi ve sermayesi hiç bulunmayan yaşlı birey, algoritmik yönetimsellik rejimi tarafından kamusal alandan ve vatandaşlık haklarından tamamen tecrit edilmektedir. Bu durum, Agamben'in (1998) kavramsallaştırması açısından bireyin "yalın yaşam" konumuna indirgenmesi üzerinden tartışılabilir.

4. TARTIŞMA, SONUÇ VE POLİTİKA ÖNERİLERİ

Bu araştırmada elde edilen bulgular, sağlık hizmetlerinin MHRS ve e-Nabız gibi sistemler üzerinden dijitalleştirilmesinin, 65 yaş ve üzeri kronik rahatsızlığı bulunan bireyler açısından nötr bir kamusal kolaylık olmadığını; aksine **biyo-teknolojik uyumsuzluk**, **sembolik şiddet**, **damgalanma kaygısı** ve **otonomi kaybı** üreten bir toplumsal dışlanma mekanizmasına dönüştüğünü göstermektedir.

Literatür incelendiğinde, kamuda dijital dönüşümün verimlilik ve hız vaat ettiği (Norris, 2001;

van Dijk, 2005) sıklıkla vurgulanırken; bu dönüşümün "varsayılan kullanıcı" dışında kalan yaşlı, engelli veya düşük dijital okuryazarlığa sahip gruplarda yarattığı tahribat göz ardı edilmektedir.

Bourdieu ve Dijital Habitus: *Katılımcıların (K1, K3, K4, K8) anlatılarında öne çıkan yetersizlik hissi, Bourdieu'nün* habitus *ve* simgesel sermaye *kavramsallaştırmasını doğrulamaktadır. Yaşlı bireylerin geçmişte edindikleri mesleki, kültürel veya bürokratik sermayeleri, sağlık alanının dijitalleşmesiyle birlikte geçerliliğini kaybetmiştir. Bireyler, arayüz tasarımlarındaki fiziksel/görsel engelleri sistemin bir eksikliği olarak değil, kendi bedenlerinin ve yaşlarının "çağ dışılığı" olarak algılamakta; böylece sembolik şiddet mekanizması kusursuz biçimde işlemeye devam etmektedir.*

Goffman ve Etkileşimsel Mahcubiyet: *Katılımcıların (K5, K6) çocuklarından, torunlarından veya komşularından yardım isterken yaşadıkları utanç ve mahcubiyet duygusu, Goffman'ın* damgalanma *ve* izlenim yönetimi *teorisiyle doğrudan örtüşmektedir. "Başkasına yük olma" ve "yetersiz görünme" kaygısı, bireylerin kendi hastalıklarını gizlemelerine, tedavilerini ertelemelerine veya beden mahremiyetlerini (K6 örneğinde olduğu gibi) 3. kişilere açmalarına neden olmaktadır. Bu durum, teknolojik engelin psikososyal bir izolasyona evrildiğini kanıtlamaktadır.*

Foucault ve Biyo-Politik Tehlike: *Foucault'cu perspektiften bakıldığında, dijital sağlık sistemleri yaşlı bedeni üzerindeki biyo-iktidarın yeni bir aracına dönüşmüştür. Hasta, kendi tıbbi verisine (e-Nabız) ve randevu hakkına (MHRS) doğrudan ulaşamamakta (K2, K9, K10); kendi bedenine dair bilginin özerk kontrolünü kaybetmektedir. Dijital altyapıya erişimi hiç olmayan bireyler (K10) ise Agamben'in (1998) kavramsallaştırması üzerinden, kamusal hakları askıya alınmış birer "yalın yaşam" nesnesi haline getirilmektedir.*

4.2. Sonuç

Araştırmanın sonuçları, dijital sağlık sistemlerinin yaşlılar açısından yalnızca bir "teknolojiye erişim sorunu" (birincil dijital bölünme) değil; bir **"hakka erişim ve insan onuru sorunu"** (ikincil ve üçüncül dijital bölünme) olduğunu göstermektedir.

Erişilebilirlik Masalı: *Mevcut dijital arayüzler, yaşlanan bedenin fizyolojik kısıtlılıklarını (görme, el titremesi, yavaş karar alma) hesaba katmayan kuşatıcı bir kapsayıcılık illüzyonu sunmaktadır.*

Kuşaklararası Bağımlılık ve İtibar Kaybı: *Dijital sermaye eksikliği, aile içi hiyerarşiyi altüst ederek yaşlı bireyin otonomisini elinden almakta ve onu evlatlarına/çevresine bağımlı kılmaktadır.*

Kamu Hizmetinden Tasfiye: *Analog/fiziksel başvuru kanallarının kademeli olarak kapatılması veya zorlaştırılması, dijital okuryazarlığı olmayan yaşlı bireylerin kamusal alandan ve vatandaşlık haklarından fiilen tasfiye edilmesine yol açmaktadır.*

4.3. Politika Önerileri (Hakkın Evrenselliği ve Erişilebilirlik İçin)

Yaşlı bireylerin kamusal sağlık hizmetlerinden eşit, onurlu ve bağımsız bir şekilde yararlanabilmesi için acilen uygulamaya konulması gereken politika önerileri aşağıda maddelenmiştir:

Çift Kanallı (Hibrit) Hizmet Rejimi: *Dijital arayüzler tek meşru erişim kanalı olmaktan çıkarılmalıdır. Tüm kamu hastanelerinde 65 yaş ve üzeri bireyler için doğrudan* ***fiziksel banko/yüz yüze randevu ve danışma birimleri*** *yasal zorunluluk haline getirilmelidir.*

Yaşlı Dostu Arayüz Tasarımı (Inclusive Design): *MHRS ve e-Nabız uygulamalarına tek tıkla geçilebilen bir* ***"Yaşlı Modu"*** *eklenmelidir. Bu modda:*

- Font boyutları otomatik olarak büyütülmeli, kontrast oranları artırılmalıdır.
- Oturum zaman aşımı (timeout) süreleri yaşlı kullanıcılar için kaldırılmalı veya uzatılmalıdır.

- Karmaşık CAPTCHA ve güvenlik kodları yerine sesli doğrulama veya tek aşamalı basitleştirilmiş giriş seçenekleri sunulmalıdır.

Dijital Sağlık Rehberliği Servisi: Hastanelerde ve Toplum Sağlığı Merkezlerinde, yaşlı bireylere randevu alma ve e-Nabız okuryazarlığı konusunda birebir, ücretsiz destek verecek **"Dijital Sağlık Danışmanları"** istihdam edilmelidir.

Veri Mahremiyeti ve Vekalet Düzenlemeleri: *Bireylerin çocukları veya 3. şahıslar aracılığıyla işlem yaparken tüm geçmiş tıbbi verilerinin görünmesini engelleyen, sadece "randevu alma" ile sınırlandırılmış* ***"Kısıtlı Vekalet/Yardımcı Arayüzü"*** *geliştirilmelidir.*

KAYNAKÇA

Agamben, G. (1998). *Homo Sacer: Sovereign Power and Bare Life*. Stanford University Press.
Bourdieu, P. (2011). Pratik nedenler: Eylem teorisi üzerine kuramlar *(H. T. Başar, Çev.). İletişim Yayınları.*
Bourdieu, P. (2014). Tahakküm üzerine *(B. Yalım, Çev.). Bağlam Yayınları.*
Bourdieu, P. (2015). Ayrım: Beğeni yargısının toplumsal eleştirisi *(D. Türkan, Çev.). Heretik Yayıncılık.*
Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. Qualitative Research in Psychology, 3*(2), 77–101.*
Castells, M. (2013). Communication Power. *Oxford University Press.*
Charness, N., & Boot, W. R. (2009). Aging and information technology use. Current Directions in Psychological Science, 18*(5), 253–260.*
Clarke, A. E., Shim, J. K., Mamo, L., Fosket, J. R., & Fishman, J. R. (2010). Biomedicalization: Technoscience, Health, and Illness in the U.S. *Duke University Press.*
Foucault, M. (2015). Kliniğin doğuşu: Tıbbi algının arkeolojisi *(İ. Akın, Çev.). Ayrıntı Yayınları.*
Foucault, M. (2016). Biyopolitikanın doğuşu: Collège de France dersleri (1978-1979) *(A. Taylan, Çev.). İstanbul Bilgi Üniversitesi Yayınları.*
Gatz, M., Kasl-Godley, J., & Karel, M. J. (2006). Aging and mental health. In J. E. Birren & K. W. Schaie (Eds.), Handbook of the Psychology of Aging *(pp. 140–148). Elsevier.*
Goffman, E. (2014). Günlük yaşamda benliğin sunumu *(B. Çuna, Çev.). Metis Yayınları.*
Goffman, E. (2018). Damga: Sakatlanmış bir kimliğin idaresi üzerine notlar *(Ş. Geniş, Çev.). Heretik Yayıncılık.*
Kline, D. W., & Scialfa, C. T. (1996). Visual and auditory aging. In J. E. Birren & K. W. Schaie (Eds.), Handbook of the Psychology of Aging *(pp. 110–115). Academic Press.*
Lupton, D. (2014). Digital Sociology. *Routledge.*
Lupton, D. (2016). The Quantified Self. *Polity Press.*
Lupton, D. (2019). Data Selves: More-than-human Digital Subjects. *Polity Press.*
Marshall, V. W., & Mortimer, J. A. (2009). The sociology of retirement. In R. B. Hudson (Ed.), The New Politics of Old Age Policy *(pp. 60–68). Johns Hopkins University Press.*
Nielsen, J. (2020). Designing Web Usability: The Practice of Simplicity. *New Riders Publishing.*
Norris, P. (2001). Digital Divide: Civic Engagement, Information Poverty, and the Internet Worldwide. *Cambridge University Press.*
Ragnedda, M. (2018). Conceptualizing Digital Divide. *Palgrave Macmillan.*
Salthouse, T. A. (2000). Aging and measures of processing speed. Biological Psychology, 54*(1–3), 35–42.*
Selwyn, N. (2012). Education in a Digital World: Global Perspectives on Technology and Education. *Routledge.*
van Dijk, J. A. G. M. (2005). The Deepening Divide: Inequality in the Information Society. *SAGE Publications.*
Williamson, B. (2015). Algorithmic Governance: Tracking, Sorting and Sizing Up Children's Schools. *Sense Publishers.*
Winner, L. (1980). Do artifacts have politics? Daedalus, 109*(1), 121–136.*
Yorulmaz, M., Odacı, Ş., & Akkan, M. (2018). Dijital sağlık ve e-Nabız farkındalık düzeyi belirleme çalışması. Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi, 16, *1–11.*

RURAL TOURISM DEMAND in TÜRKİYE: TRENDS in FARM, VILLAGE and MOUNTAIN HOUSE ACCOMMODATION

Tuğçe KAYA
Çukurova University, Faculty of Agriculture, Department of Agricultural Economics, 01330 Adana, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-5376-6144

ABSTRACT
Rural accommodation demand in Türkiye is examined for the period 2012–2025 using annual statistics published by the Republic of Türkiye Ministry of Culture and Tourism. Four accommodation types are included: Mountain Houses (Dağ Evi), Farm Houses/Village Houses (Çiftlik Evi/Köy Evi), Highland Houses (Yayla Evi) and Rural Tourism Facilities (Kırsal Turizm Tesisi). The time coverage differs by category, with complete 2012–2025 records available for Mountain Houses and Farm Houses/Village Houses and shorter series for the other two types. Arrivals, overnight stays, length of stay, occupancy and foreign visitor shares are used to describe demand. The annual figures fluctuate rather than showing a steady rise over the period. Among the two categories with complete series, Mountain Houses averaged more arrivals and overnight stays and had a mean stay of 2.30 nights, compared with 1.81 nights for Farm Houses/Village Houses. Highland Houses, despite having fewer visitors, recorded the longest mean stay at 3.09 nights. Foreign visitor shares also changed markedly across years and reached their highest point in 2017. Arrivals and overnight stays rose after 2023, but the combined Mountain House and Farm House/Village House figures recorded in 2025 remained below their 2012 values. The findings reveal distinct temporal patterns across rural accommodation categories that are not visible when these categories are considered only in aggregate.
Keywords: rural tourism; rural accommodation; tourism demand; farm tourism; overnight stays; Türkiye

RURAL TOURISM DEMAND in Türkiye: TRENDS in FARM, VILLAGE and MOUNTAIN HOUSE ACCOMMODATION

ÖZET
Bu çalışmada, Türkiye'de kırsal konaklama talebi, T.C. Kültür ve Turizm Bakanlığı tarafından yayımlanan yıllık istatistikler kullanılarak 2012–2025 dönemi için incelenmiştir. Analize dört konaklama türü dâhil edilmiştir: Dağ Evleri, Çiftlik Evi/Köy Evleri, Yayla Evleri ve Kırsal Turizm Tesisleri. Verilerin kapsadığı dönem konaklama türlerine göre farklılık göstermektedir. Dağ Evleri ile Çiftlik Evi/Köy Evleri için 2012–2025 döneminin tamamına ait veriler bulunurken diğer iki konaklama türünün veri serileri daha kısadır. Talebi incelemek amacıyla tesise geliş sayısı, geceleme sayısı, ortalama kalış süresi, doluluk oranı ve yabancı ziyaretçi payları kullanılmıştır. Yıllık veriler, incelenen dönem boyunca düzenli bir artış yerine dalgalı bir seyir göstermektedir. Tam veri serisine sahip iki konaklama türü karşılaştırıldığında, Dağ Evlerinde yıllık ortalama geliş ve geceleme sayılarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Ortalama kalış süresi Dağ Evlerinde 2,30 gece, Çiftlik Evi/Köy Evlerinde ise 1,81 gecedir. Daha az ziyaretçi ağırlamasına rağmen Yayla Evleri, 3,09 gece ile en uzun ortalama kalış süresine sahiptir. Yabancı ziyaretçi payları da yıllar arasında belirgin değişiklikler göstermiş ve en yüksek düzeyine 2017 yılında ulaşmıştır. Geliş ve geceleme sayıları 2023 sonrasında artmasına rağmen, Dağ Evleri ile Çiftlik Evi/Köy Evlerinin toplam 2025 değerleri 2012 düzeylerinin altında kalmıştır. Bulgular, kırsal konaklama türlerinin toplulaştırılarak incelenmesi durumunda görülemeyen farklı zamansal eğilimlere sahip olduğunu göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: kırsal turizm; kırsal konaklama; turizm talebi; çiftlik turizmi; geceleme; Türkiye

1. INTRODUCTION

Rural tourism covers a broad range of tourism activities associated with rural environments, local communities, small-scale enterprises and rural ways of life. The literature does not treat rural tourism as a single, uniform activity; rather, it includes different forms of tourism that draw on rural resources, local communities and locally embedded economic activities (Rosalina et al., 2021; Kumar et al., 2026). Recent reviews also show that rural tourism research increasingly addresses sustainable development, community participation, local resources and the economic, environmental and socio-cultural dimensions of rural destinations (Ruiz-Real et al., 2022; Kumar et al., 2026). Kumar et al. (2026), based on 277 publications covering 1990–2023, identify several major strands of the literature, including integrated rural tourism, institutionalisation of rural tourism development, sustainability, opportunities and challenges and rural tourism impacts.

Within this broader structure, farm tourism and agritourism connect tourism activities more directly with agricultural holdings and rural livelihoods. Tourism has long been examined as a form of farm diversification. Ilbery et al. (1998), studying farm-based tourism in the northern Pennines of England, showed that tourism represented an alternative farm enterprise, although its contribution to farm income did not necessarily transform the economic position of participating farms. This relationship between agriculture and tourism has remained an important part of the rural tourism literature. Cavalleri et al. (2022), for example, examine community-based agritourism as a rural livelihood diversification strategy and connect it with sustainable local food systems and community resilience. Their framework includes environmental, socio-cultural, economic and health dimensions and explicitly considers agri-accommodation among the economic components of community-based agritourism.

Accommodation is particularly relevant when rural tourism is examined from the demand side. Park and Yoon (2011) argue for measurable indicators that can be used to assess rural tourism development and develop a framework consisting of 33 indicators across four dimensions. Their discussion of rural tourism in Korea also distinguishes between day visitors and tourists staying overnight, showing that visitor numbers alone may not adequately describe the use of rural tourism facilities when the incidence of overnight stays differs. This provides a basis for examining arrivals together with overnight stays and other accommodation indicators rather than relying on a single measure of tourism demand.

Farm tourism is one way in which tourism and agricultural activities come together in Türkiye. Zengin and Savgın (2016) examined farm tourism in the country, including its place within alternative forms of tourism. Turkish research has also addressed ecological farms and the TaTuTa model, reflecting different ways in which farming activities have been linked with rural tourism. These studies show that the relationship between agriculture and tourism in Türkiye has been considered through more than one form of farm-based rural tourism (Zengin and Savgın, 2016). These studies suggest that rural accommodation should not automatically be treated as a homogeneous tourism product, since different forms of rural tourism are associated with different accommodation settings and rural activities.

More recent research has begun to examine rural accommodation in Türkiye using quantitative tourism data. Sevim et al. (2026) construct a measure of rural tourism intensity from tourist arrivals in locally embedded and small-scale accommodation structures, including mountain lodges and village houses, together with camping sites, hostels, pensions, motels and boutique hotels. Using monthly data for 2000–2025, they examine the relationship between this measure

and Türkiye's external balance. Their study demonstrates that rural accommodation can be represented quantitatively using disaggregated accommodation categories. Its research question, however, concerns the relationship between rural accommodation intensity and the trade deficit rather than changes in rural accommodation demand, visitor composition or length of stay.

Official accommodation statistics in Türkiye distinguish several forms that are directly relevant to rural tourism, including Mountain Houses (Dağ Evi), Farm Houses/Village Houses (Çiftlik Evi/Köy Evi), Highland Houses (Yayla Evi) and, in more recent years, Rural Tourism Facilities (Kırsal Turizm Tesisi). These categories allow rural accommodation demand to be examined through arrivals, overnight stays, average length of stay, occupancy rates and the domestic–foreign composition of visitors. Such a disaggregated approach is particularly appropriate because previous research has emphasised the diversity of rural tourism and the need for measurable indicators when evaluating rural tourism activity (Park and Yoon, 2011; Rosalina et al., 2021).

Annual accommodation records for 2012–2025 are used to examine rural tourism demand in Türkiye. Mountain Houses and Farm Houses/Village Houses are reported throughout these fourteen years. The available records are shorter for the other two categories: Highland House data start in 2013, and Rural Tourism Facilities appear from 2020. Demand is followed through arrivals, overnight stays, length of stay, occupancy and the proportion of foreign visitors. These indicators are examined over time and separately for each accommodation type. This differs from Sevim et al. (2026), where several small-scale and locally embedded accommodation categories are brought together in a single measure to investigate Türkiye's external balance. Here, no such aggregation is made. Each accommodation category remains separate, making its own pattern over the available period visible.

2. MATERIAL AND METHOD

2.1. Data and Variables

The study draws on annual accommodation statistics published by the Republic of Türkiye Ministry of Culture and Tourism for 2012–2025. The Ministry reports figures for each facility type and separates domestic visitors from foreign visitors. Reporting coverage changes across the annual files, so the records were compiled into one dataset while retaining the accommodation categories reported for each year.

A complete 2012–2025 series is available for Mountain Houses (Dağ Evi) and Farm Houses/Village Houses (Çiftlik Evi/Köy Evi), and these categories form the main series used in the study. Records for Highland Houses (Yayla Evi) start in 2013. Rural Tourism Facilities (Kırsal Turizm Tesisi) are listed separately from 2020, giving a six-year series through 2025. Simple Certified (Basit Belgeli) establishments are excluded from the main series because their records are not available consistently throughout 2012–2025. The difference in starting years reflects the coverage and classification of the available official statistics rather than the emergence of these accommodation forms in those years. Highland Houses (Yayla Evi) were already recognized as a distinct accommodation type under the 2005 tourism facilities regulation, although the available series used in this study begins in 2013. The separate reporting of Rural Tourism Facilities (Kırsal Turizm Tesisi) from 2020 follows the introduction of the new regulatory framework for tourism establishments in 2019, which grouped farm houses, village houses, highland houses and mountain houses within the broader category of rural tourism facilities. Accordingly, the shorter series should not be interpreted as evidence that these forms of rural tourism first emerged in 2013 or 2020.

Rural tourism demand is described through two main indicators: the number of arrivals and overnight stays.The dataset also includes domestic and foreign arrivals, domestic and foreign overnight stays, average length of stay and occupancy rates. Two additional indicators are calculated from the original data. Foreign arrival share is calculated as foreign arrivals divided by total arrivals and multiplied by 100, while foreign overnight-stay share is calculated as foreign overnight stays divided by total overnight stays and multiplied by 100. Average length of stay is calculated as total overnight stays divided by total arrivals.

Table 1. Data and Variable Definitions

Variable	Definition	Measurement	Period
Arrivals	Number of guests arriving at the accommodation facilities	Number of persons	2012–2025*
Overnight stays	Total number of nights spent by guests at the accommodation facilities	Number of nights	2012–2025*
Foreign arrivals	Number of foreign guests arriving at the accommodation facilities	Number of persons	2012–2025*
Domestic arrivals	Number of domestic guests arriving at the accommodation facilities	Number of persons	2012–2025*
Foreign overnight stays	Total number of nights spent by foreign guests	Number of nights	2012–2025*
Domestic overnight stays	Total number of nights spent by domestic guests	Number of nights	2012–2025*
Average length of stay	Total overnight stays divided by total arrivals	Nights	2012–2025*
Occupancy rate	Reported occupancy rate of the accommodation facilities	Percent (%)	2012–2025*
Foreign arrival share	Foreign arrivals as a percentage of total arrivals	Percent (%)	2012–2025*
Foreign overnight-stay share	Foreign overnight stays as a percentage of total overnight stays	Percent (%)	2012–2025*

Note: *2012–2025 refers to the main comparable series of Tourism Operation Certified Mountain Houses (Dağ Evi) and Farm Houses/Village Houses (Çiftlik Evi/Köy Evi). Highland Houses (Yayla Evi) are available for 2013–2025, while Rural Tourism Facilities (Kırsal Turizm Tesisi) are available for 2020–2025. Simple Certified (Basit Belgeli) facilities are kept separate because they are not consistently observed over the full study period. Arrivals and overnight stays are reported separately for domestic and foreign visitors.
Source: Republic of Türkiye Ministry of Culture and Tourism, Accommodation Statistics, various years (2012–2025).

2.2. Analytical Approach

Descriptive measures and comparisons between accommodation types are used in the analysis. For the combined Mountain House and Farm House/Village House data, the mean, standard deviation and minimum and maximum values are reported for 2012–2025 Both Mountain Houses and Farm Houses/Village Houses have complete records from 2012 to 2025, so changes in the two series can be traced over the same fourteen years. The comparison uses five indicators: arrivals, overnight stays, length of stay, occupancy rates and the share of foreign visitors. Data for Mountain Houses and Farm Houses/Village Houses span 2012–2025, but the other two categories have shorter series. Highland House observations start in 2013 and Rural

Tourism Facility observations in 2020. For this reason, the averages reported for these categories are based on their own available years rather than on a common period shared by all four accommodation types.

Annual figures for arrivals, overnight stays, foreign visitor shares and length of stay are also shown in graphs to trace their changes over time. These calculations are used to describe the patterns in the accommodation statistics. They are not used to estimate the effects of economic or tourism-related factors on rural tourism demand.

3. RESULTS

3.1. Descriptive Statistics

Table 2 reports the descriptive statistics for the combined Mountain House (Dağ Evi) and Farm House/Village House (Çiftlik Evi/Köy Evi) series for 2012–2025. Over the fourteen-year period, the number of arrivals was 11,641.86 per year on average, with annual figures between 7,161 and 24,948. Overnight stays varied from 15,713 to 38,135, giving an annual mean of 23,721.86.

Foreign visitors made up 11.59% of arrivals over the period. Their share was slightly larger for overnight stays, at 13.32%. Length of stay varied between 1.50 and 2.63 nights across the years, with a mean of 2.11 nights.

Table 2. Descriptive Statistics of Rural Tourism Demand, 2012–2025

Variable	Obs.	Mean	Std. Dev.	Min.	Max.
Total arrivals	14	11,641.86	4,300.42	7,161	24,948
Total overnight stays	14	23,721.86	6,526.19	15,713	38,135
Foreign arrival share (%)	14	11.59	7.63	2.84	27.97
Foreign overnight-stay share (%)	14	13.32	8.63	2.79	31.72
Average length of stay (nights)	14	2.11	0.41	1.50	2.63

Note: The figures refer to the combined annual data for Tourism Operation Certified Mountain Houses (Dağ Evi) and Farm Houses/Village Houses (Çiftlik Evi/Köy Evi). Foreign arrival share is obtained by dividing foreign arrivals by total arrivals. The same calculation is used for the foreign overnight-stay share, based on foreign and total overnight stays.

Source: Republic of Türkiye Ministry of Culture and Tourism, *Accommodation Statistics*, various years (2012–2025); authors' calculations.

3.2. Comparison of Rural Accommodation Types

Table 3 compares the four rural accommodation categories. Mountain Houses and Farm Houses/Village Houses can be compared over the full 2012–2025 period because both have observations for all fourteen years. Mountain Houses averaged 6,633.93 arrivals per year, while the figure for Farm Houses/Village Houses was 5,007.93. The difference was larger for overnight stays, with annual averages of 14,755.79 and 8,966.07, respectively. Average stays were also longer in Mountain Houses (2.30 nights) than in Farm Houses/Village Houses (1.81 nights). In Mountain Houses, foreign visitors made up 12.43% of arrivals, while their share of overnight stays was 13.30%. For Farm Houses/Village Houses, these percentages were 11.27% and 13.19%.

The Highland House (Yayla Evi) data cover 2013–2025. Over these years, the category received an average of 1,184.31 arrivals per year, with 3,351.54 overnight stays. Visitors stayed for 3.09 nights on average, longer than in any of the other three accommodation categories. Foreign visitors represented 5.48% of arrivals but only 3.76% of overnight stays. Rural Tourism Facilities (Kırsal Turizm Tesisi) are observed for 2020–2025. Over this period, they recorded

annual averages of 11,220.67 arrivals and 25,604.00 overnight stays, with a mean length of stay of 2.13 nights. Mean occupancy rates ranged from 26.18% for Rural Tourism Facilities to 28.52% for Mountain Houses. Because the observation periods differ across accommodation categories, the means for Highland Houses and Rural Tourism Facilities refer only to their respective available periods.

Table 3. Comparison of Rural Accommodation Types

Accommodation type	Period	Obs.	Mean arrivals	Mean overnight stays	Mean length of stay (nights)	Mean occupancy rate (%)	Foreign arrivals (%)	Foreign overnight stays (%)
Mountain House (Dağ Evi)	2012–2025	14	6,633.93	14,755.79	2.30	28.52	12.43	13.30
Farm House/Village House (Çiftlik Evi/Köy Evi)	2012–2025	14	5,007.93	8,966.07	1.81	26.44	11.27	13.19
Highland House (Yayla Evi)	2013–2025	13	1,184.31	3,351.54	3.09	27.72	5.48	3.76
Rural Tourism Facility (Kırsal Turizm Tesisi)	2020–2025	6	11,220.67	25,604.00	2.13	26.18	6.11	6.30

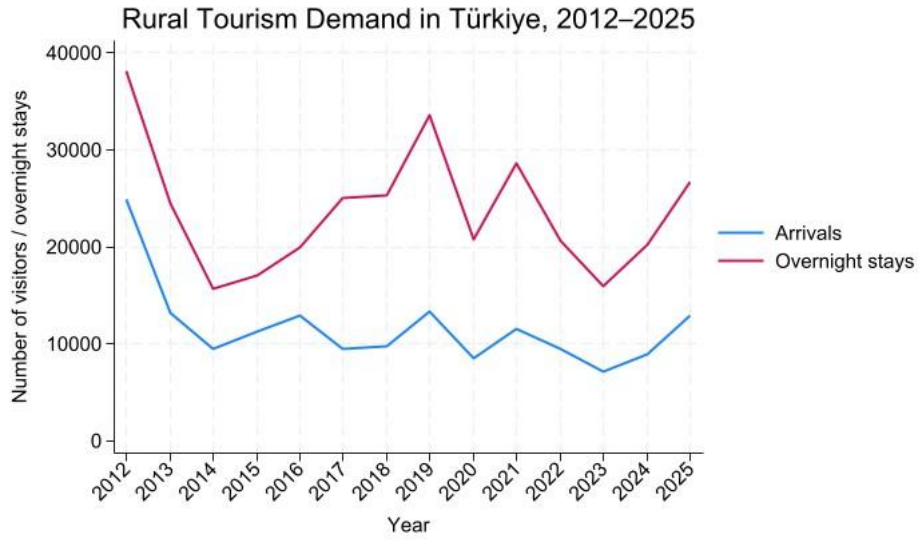
Note: The table reports annual means for Tourism Operation Certified (İşletme Belgeli) accommodation facilities. Observation periods differ across accommodation types. Foreign arrival and overnight-stay shares are calculated as percentages of total arrivals and total overnight stays, respectively. Highland Houses are observed for 2013–2025 and Rural Tourism Facilities for 2020–2025; their means therefore refer to shorter periods than those of Mountain Houses and Farm Houses/Village Houses.
Source: Republic of Türkiye Ministry of Culture and Tourism, Accommodation Statistics, various years; authors' calculations.

3.3. Development of Arrivals and Overnight Stays

Figure 1 shows annual arrivals and overnight stays in the combined Mountain House and Farm House/Village House series between 2012 and 2025. The series began with 24,948 arrivals and 38,135 overnight stays in 2012, followed by declines in both indicators in 2013 and 2014. Arrivals subsequently fluctuated, while overnight stays increased from 19,968 in 2016 to 33,511 in 2019.

Both indicators declined in 2020, increased in 2021 and fell again through 2023. Arrivals reached their lowest value of 7,161 in 2023. They then increased to 8,980 in 2024 and 12,862 in 2025, while overnight stays rose to 20,257 and 26,675, respectively. Despite these increases, both indicators remained below their 2012 levels in 2025.

Figure 1. Arrivals and Overnight Stays in Mountain Houses and Farm Houses/Village Houses, 2012–2025

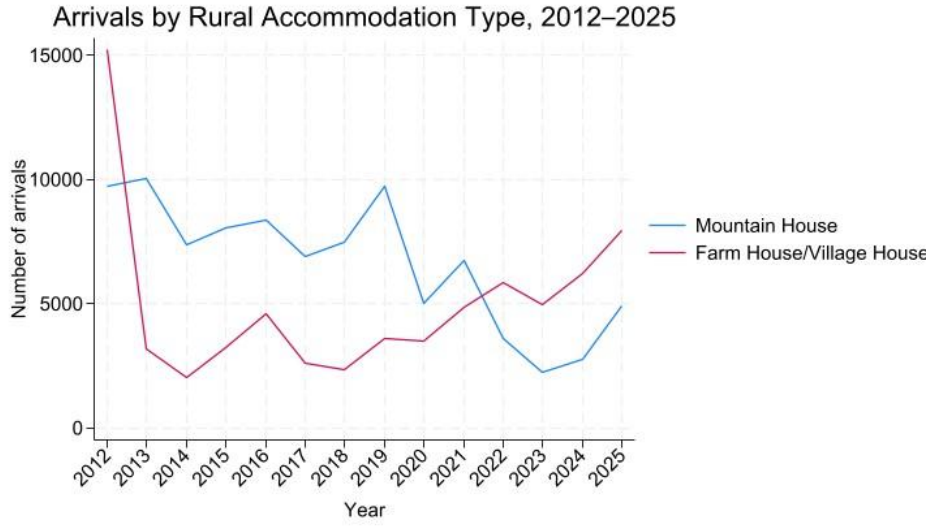


Source: Republic of Türkiye Ministry of Culture and Tourism, Accommodation Statistics, various years; authors' calculations.

Figure 2 presents arrivals separately for Mountain Houses and Farm Houses/Village Houses. Farm Houses/Village Houses began the period with 15,208 arrivals in 2012, but this number fell to 3,164 in 2013 and 2,049 in 2014. Mountain Houses recorded more arrivals than Farm Houses/Village Houses in most subsequent years.

Mountain House arrivals reached 10,058 in 2013 and 9,715 in 2019 before declining to 2,216 in 2023. From 2023 to 2025, arrivals increased in both categories, but the increase was larger for Farm Houses/Village Houses. Their arrivals rose from 4,945 to 7,943, while Mountain House arrivals increased from 2,216 to 4,919. Farm Houses/Village Houses therefore recorded more arrivals than Mountain Houses in 2025.

Figure 2. Arrivals by Rural Accommodation Type, 2012–2025

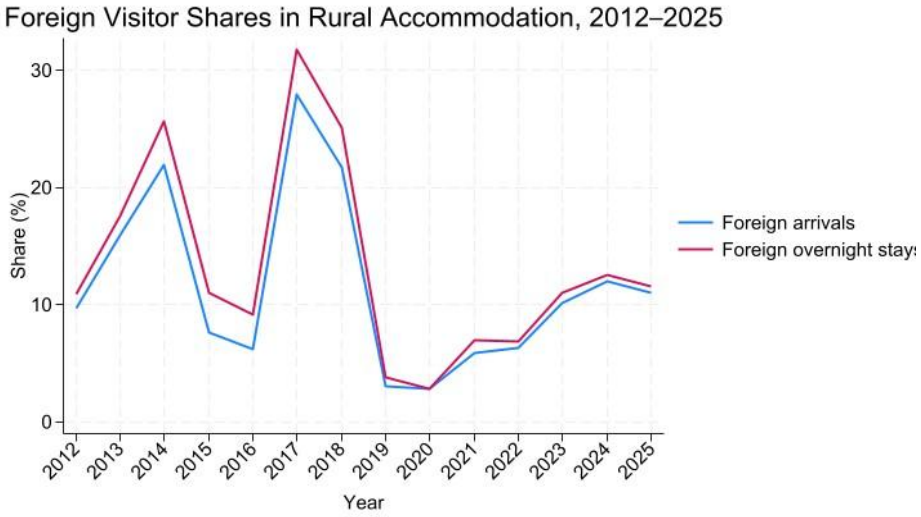


Source: Republic of Türkiye Ministry of Culture and Tourism, Accommodation Statistics, various years (2012–2025); authors' calculations.

3.4. Foreign Visitor Shares and Length of Stay

Figure 3 presents foreign shares of arrivals and overnight stays in the combined Mountain House and Farm House/Village House series. The foreign arrival share increased from 9.75% in 2012 to 21.93% in 2014, before declining to 6.15% in 2016. The highest values were recorded in 2017, when foreign visitors accounted for 27.97% of arrivals and 31.72% of overnight stays. Both shares remained relatively high in 2018 before falling sharply in 2019 and reaching their lowest values in 2020, at 2.84% for arrivals and 2.79% for overnight stays. The foreign arrival share subsequently increased to 11.96% in 2024 and declined slightly to 11.03% in 2025. The foreign overnight-stay share followed a similar pattern and reached 11.52% in 2025. Except in 2020, the foreign share of overnight stays was higher than the foreign share of arrivals throughout the period.

Figure 3. Foreign Shares of Arrivals and Overnight Stays in Rural Accommodation, 2012–2025

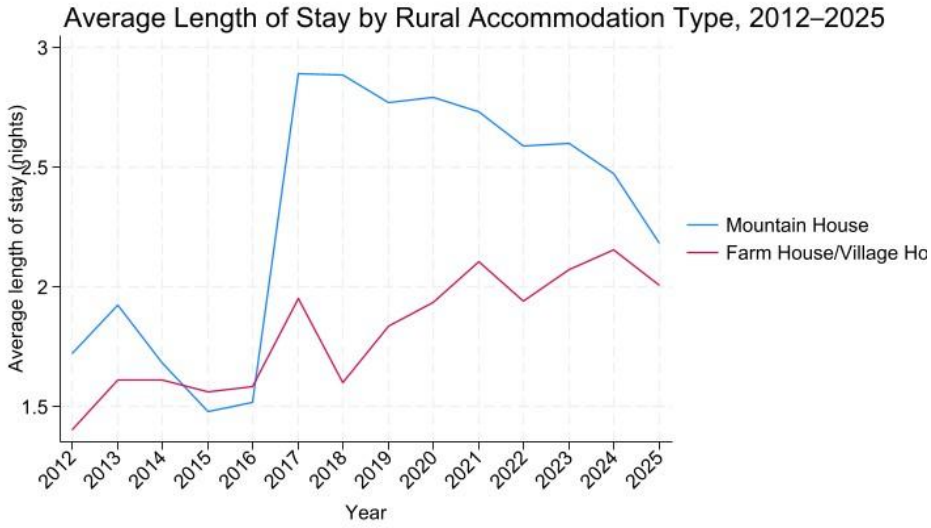


Source: Republic of Türkiye Ministry of Culture and Tourism, Accommodation Statistics, various years (2012–2025); authors' calculations.

Figure 4 compares the average length of stay in Mountain Houses and Farm Houses/Village Houses. The difference between the two categories was relatively small during 2012–2016. In Mountain Houses, average length of stay increased from 1.52 nights in 2016 to 2.89 nights in 2017 and remained at 2.89 nights in 2018. It subsequently declined gradually but remained above 2.5 nights through 2023.

The Farm House/Village House series changed more gradually. Average length of stay increased from 1.41 nights in 2012 to 2.11 nights in 2021 and reached 2.16 nights in 2024. In 2025, average length of stay was 2.18 nights in Mountain Houses and 2.01 nights in Farm Houses/Village Houses.

Figure 4. Average Length of Stay by Rural Accommodation Type, 2012–2025



Source: Republic of Türkiye Ministry of Culture and Tourism, Accommodation Statistics, various years (2012–2025); authors' calculations.

4. DISCUSSION

From 2012 to 2025, arrivals and overnight stays in Mountain Houses and Farm Houses/Village Houses varied from year to year. Neither indicator returned to its 2012 level by 2025. Looking at the full period, Mountain Houses had higher annual averages for both measures. In the later years, Farm Houses/Village Houses followed a different pattern, with arrivals rising more quickly. By 2025, their arrival figure was above that of Mountain Houses. These differences show that changes within individual accommodation types may be obscured when rural accommodation is considered as a single aggregate category.

This distinction is consistent with the heterogeneous structure of rural tourism identified in previous research. Reviews describe rural tourism in terms of different accommodation forms, activities and locally embedded practices, covering economic, social, environmental and institutional dimensions (Kumar et al., 2026; Rosalina et al., 2021). Kumar et al. (2026), based on 277 publications covering 1990–2023, identify integrated rural tourism, institutional development, sustainability, opportunities and challenges and tourism impacts among the main themes in the literature. In Türkiye, Sevim et al. (2026) combine several small-scale rural accommodation categories, including mountain lodges and village houses, into a rural accommodation intensity measure and examine its relationship with the external balance. The present results show that these accommodation categories can follow different demand patterns when examined separately.

Farm Houses/Village Houses are particularly relevant to the relationship between tourism and agriculture. Zengin and Savgın (2016) examined farm tourism in the Datça Peninsula using secondary data, interviews and observations. Visitors were attracted to quiet rural environments and the opportunity to experience life on a farm. The study also reported that adapting farms to tourism could bring changes to traditional farming practices. Farm tourism has also been discussed as an alternative activity for agricultural diversification, although the income obtained from tourism does not appear to be the same across farms (Ilbery et al., 1998; Sharpley & Vass, 2006). In our data, Farm House/Village House arrivals increased in the later years, showing that more visitors used this type of accommodation during that period. The data, however, do not

show whether this change was accompanied by higher farm income or changes in agricultural production.

Cavalleri et al. (2022) examine community-based agritourism as a form of rural livelihood diversification. Their framework covers environmental, sociocultural, economic and health dimensions. The economic dimension includes agri-accommodation, agri-food services, direct sales, alternative employment and local economic development. Since the present study is based on accommodation data, these wider outcomes cannot be evaluated.

Length of stay reveals a different aspect of accommodation use. Visitors stayed longer on average in Mountain Houses than in Farm Houses/Village Houses, while Highland Houses had the longest mean stay of the four categories. Park and Yoon (2011) also consider visitor numbers and overnight stays separately when examining rural tourism performance in Korea. In the present data, arrivals, overnight stays and length of stay therefore provide different information about the use of rural accommodation.

The share of foreign visitors changed markedly over the study period. It peaked in 2017, fell sharply by 2019–2020 and then increased again. By 2025, however, foreign shares were still below their 2017 levels. In most years, foreign visitors accounted for a larger share of overnight stays than of arrivals. Since the analysis is descriptive, the data do not identify the factors behind these year-to-year changes.

Rural Tourism Facilities are reported separately only for 2020–2025. As noted in the data section, this shorter series coincides with the regulatory reclassification introduced in 2019 and should not be interpreted as indicating that rural tourism activity itself began in 2020.

The analysis covers registered accommodation categories reported in the official statistics. Rural tourism activity outside these categories is therefore not included. The data also provide no information on visitor expenditure, establishment revenues, farm income, employment, agricultural production or household livelihoods. Broader dimensions of rural tourism identified in the literature, including community participation, stakeholder relations and sustainability, therefore cannot be assessed with these data (An and Alarcón, 2020; Kumar et al., 2026). Future research combining accommodation statistics with farm- or establishment-level economic data could examine whether changes in rural tourism demand are associated with economic outcomes for agricultural producers and rural households.

5. CONCLUSION

This study examined rural tourism demand in Türkiye using official accommodation statistics for 2012–2025. The results reveal substantial variation over time and across rural accommodation categories. During the common observation period, Mountain Houses recorded higher average arrivals and overnight stays than Farm Houses/Village Houses and also had a longer mean stay. Farm Houses/Village Houses, however, experienced a stronger increase toward the end of the period and recorded more arrivals than Mountain Houses in 2025. Highland Houses had the longest average stay among the accommodation types examined. Rural Tourism Facilities, for which data are available only from 2020, recorded higher arrivals and overnight stays toward the end of their shorter observation period.

The combined series for Mountain Houses and Farm Houses/Village Houses changed considerably between 2012 and 2025. Although arrivals and overnight stays increased after 2023, neither had returned to its 2012 level by 2025. Foreign visitor shares also varied markedly from year to year.

The accommodation categories differed in visitor numbers, length of stay and the domestic–foreign composition of demand. Keeping these categories separate therefore makes it possible to identify patterns that would be less visible in an aggregated rural accommodation series.

REFERENCES

An, W., & Alarcón, S. (2020). How can rural tourism be sustainable? A systematic review. *Sustainability, 12*(18), 7758. https://doi.org/10.3390/su12187758

Cavalleri, S. A. E., Tanwattana, P., & Grünbühel, C. M. (2022). Systemizing a rural livelihood diversification framework for sustainable community-based agritourism: A participatory approach to ensure resilience. *Frontiers in Sustainable Food Systems, 6*, 993892. https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.993892

Ilbery, B., Bowler, I., Clark, G., Crockett, A., & Shaw, A. (1998). Farm-based tourism as an alternative farm enterprise: A case study from the northern Pennines, England. *Regional Studies, 32*(4), 355–364. https://doi.org/10.1080/00343409850117816

Kumar, V., Agarwala, T., & Kumar, S. (2026). Rural tourism as a driver of sustainable development: A systematic review and future research agenda. *Tourism Review, 81*(3), 1101–1120. https://doi.org/10.1108/TR-03-2024-0172

Park, D.-B., & Yoon, Y.-S. (2011). Developing sustainable rural tourism evaluation indicators. *International Journal of Tourism Research, 13*, 401–415. https://doi.org/10.1002/jtr.804

Republic of Türkiye Ministry of Culture and Tourism. (2012–2025). *Accommodation statistics* [Data set].

Rosalina, P. D., Dupre, K., & Wang, Y. (2021). Rural tourism: A systematic literature review on definitions and challenges. *Journal of Hospitality & Tourism Management, 47*, 134–149. https://doi.org/10.1016/j.jhtm.2021.03.001

Ruiz-Real, J. L., Uribe-Toril, J., de Pablo Valenciano, J., & Gázquez-Abad, J. C. (2022). Rural tourism and development: Evolution in scientific literature and trends. *Journal of Hospitality & Tourism Research, 46*(7), 1322–1346. https://doi.org/10.1177/1096348020926538

Sevim, N., Yılmaz, A., Karamaşa, Ç., Eroğlu Hall, E., & Bakır, M. (2026). Tourism structure, rural accommodation and external balance: A time-varying analysis for Türkiye. *Sustainability, 18*(8), 3972. https://doi.org/10.3390/su18083972

Sharpley, R., & Vass, A. (2006). Tourism, farming and diversification: An attitudinal study. *Tourism Management, 27*(5), 1040–1052. https://doi.org/10.1016/j.tourman.2005.10.025

Zengin, B., & Savgın, E. C. (2016). Türkiye çiftlik turizminin neresinde? *Balıkesir Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 19*(35), 475–494. https://doi.org/10.31795/baunsobed.645340

EXPERT WITNESS PRACTICES IN TURKEY

Ramazan AYDIN
Karabuk University, Institute of Science, Civil Engineering, Division of Construction Management, Karabuk, Turkey
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0000-8371-1526
Doç. Dr. Halil İbrahim YUMRUTAŞ
Karabuk University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Civil Engineering - Merkez, Karabük.
ORCID NO: 0000-0002-3696-7016

ABSTRACT
The institution of expert witnessing (bilirkişilik) holds a critical position in the functioning of the Turkish judicial system, as courts render decisions based on expert reports in the vast majority of their case files. It has been observed that numerous studies have been conducted on the problems experienced within the expert witnessing institution in the Turkish judicial system and on ways to resolve them. At this point, the Expert Witnessing Law No. 6754, which entered into force on 24 November 2016, along with the subsequently issued Expert Witnessing Implementation Regulation, has fundamentally restructured the system; however, it has also given rise to new problems that need to be addressed.
Materials and Methods: This study comprehensively addresses the historical development of the concept of expert witnessing, the legal nature and evidentiary value of expert reports, the constitutional dimensions of the regulation introduced by Law No. 6754, and the problems that have arisen in practice. In addition to the self-criticisms made regarding expert witnesses currently in practice, the innovations and developments that have taken place are also evaluated. In particular, structural problems such as the lack of representation of professional chambers on the Expert Witnessing Regional Boards, deficiencies in determining areas of expertise, the failure of the merit principle to be reflected in practice, inadequacies in expert witness fees, and the lack of transparency in the expert witness selection process are examined; the role of professional organizations, chambers, and especially the Union of Chambers of Turkish Engineers and Architects (TMMOB) in this process is evaluated. Beyond the legal nature of justice, the place of the expert witnessing institution within the justice system is opened to discussion at the stage of reaching realistic and accurate decisions. The continuity of states, their legal accountability, the ability to bring the guilty to justice, and the ability of the rightful party to obtain their rights are the most concrete indicators of a justice system's level of development and the extent to which its rules are implemented in practice.
Results: Ultimately, the study aims to contribute to the sound functioning of justice by putting forward concrete solution proposals for the problems in question.
Keywords: Expert witnessing, Expert Witnessing Law No. 6754, TMMOB, merit, professional chambers, fair trial

TÜRKİYEDE BİLİRKİŞİLİK UYGULAMALARI

ÖZET
Bilirkişilik müessesesi, Türk yargı sisteminin işleyişinde kritik bir konuma sahiptir; nitekim mahkemeler dosyalarının büyük çoğunluğunda bilirkişi raporlarına dayanarak karar vermektedir. Türk yargı sisteminde Bilirkişilik müessesi içerisinde yaşanan sorunlar ve çözüm yolları ile ilgili bir çok araştırma yapıldığı görülmüştür. Gelinen noktada, 24 Kasım 2016 tarihinde yürürlüğe giren 6754 sayılı Bilirkişilik Kanunu ve akabinde çıkarılan Bilirkişilik Uygulama Yönetmeliği, sistemi köklü biçimde yeniden yapılandırmış; ancak beraberinde çözülmesi gereken yeni sorunlar da doğurmuştur.
Materyaller ve Yöntemler: Bu çalışmada bilirkişilik kavramının tarihsel gelişimi, bilirkişi raporunun hukuki niteliği ve delil değeri, 6754 sayılı Kanun'un getirdiği düzenlemenin anayasal boyutları ile uygulamada ortaya çıkan sorunlar kapsamlı biçimde ele alınmaktadır. Hali hazırda, Uygulama içinde bulunan Bilirkişilerle ilgili yapılan özeleştirilerin yanında, yaşanan yenilikler ve gelişmeler de değerlendirilmiştir. Özellikle Bilirkişilik Bölge Kurullarında meslek odalarının temsil edilmemesi, uzmanlık alanlarının belirlenmesindeki aksaklıklar, liyakat ilkesinin uygulamaya yansımaması, bilirkişilik ücretlerindeki yetersizlikler ve bilirkişi seçim sürecindeki şeffaflık eksikliği gibi yapısal sorunlar incelenmekte; meslek örgütlerinin, odaların ve özellikle TMMOB'nin bu süreçteki rolü değerlendirilmektedir. Adaletin hukuki niteliğinin yanında gerçekçi ve doğru kararlar alınması aşamasında Bilirkişilik Müessesinin, Adalet sistemindeki yeri tartışmaya açılmıştır. Adalet sisteminin, Devletlerin devamlılığı ve hukuki hesap verilebilir olması, suçluların cezalarını bulması, haklıların hakkını elde edebilmesi gelişmişliğin ve kuralların ne derece hayata geçirildiğinin en somut göstergesidir.
Sonuçlar: Nihayetinde çalışma, söz konusu sorunlara yönelik somut çözüm önerilerini ortaya koyarak adaletin sağlıklı işleyişine katkı sunmayı amaçlamaktadır.
Anahtar Kelimeler: Bilirkişilik, 6754 sayılı Bilirkişilik Kanunu, TMMOB, liyakat, meslek odaları, adil yargılanma

1. GİRİŞ

Bilirkişilik, çözümü uzmanlığı, özel veya teknik bilgiyi gerektiren konularda hâkime yardımcı olmak üzere başvurulan kişilerin icra ettiği bir kamu görevi niteliğindedir. Bu müessese, hukuk sistemlerinin karmaşıklaştığı ve teknik boyutların yargılama süreçlerini giderek daha fazla etkilediği günümüzde her zamankinden daha önemli bir işlev üstlenmektedir. Türk yargı sisteminde mahkemelerin büyük çoğunluğu bilirkişi raporu esas alınarak karar vermekte; bu durum bilirkişilik müessesesinin kalitesini ve güvenilirliğini doğrudan adaletin tesisi ile ilişkilendirmektedir.

Tarihsel açıdan değerlendirildiğinde, bilirkişiliğin kökleri Osmanlı hukuk sisteminde "ehl-i vukuf" ve "ehl-i hibre" kavramlarına dayanmaktadır. Cumhuriyet döneminde ise önce 1086 sayılı Hukuk Usulü Muhakemeleri Kanunu (HUMK), ardından 6100 sayılı Hukuk Muhakemeleri Kanunu (HMK) kapsamında düzenlenen bilirkişilik, 2016 yılına kadar meslek odalarının etkin rol oynadığı bir yapıda sürdürülmüştür. Nitekim Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği (TMMOB), 2005 yılında yürürlüğe giren kendi Bilirkişilik Yönetmeliği çerçevesinde üyelerine bilirkişilik eğitimleri vermiş, uzmanlık belgesi düzenlemiş ve bilirkişi listelerini oluşturup illerin Valilik birimlerine göndermişlerdir.

24 Kasım 2016 tarihinde yürürlüğe giren 6754 sayılı Bilirkişilik Kanunu, sistemi köklü biçimde yeniden yapılandırmış; bilirkişilik alanındaki tüm denetim, eğitim ve listeleme yetkisini Adalet Bakanlığı bünyesinde kurulan Bilirkişilik Daire Başkanlığı ve Bilirkişilik Bölge Kurullarına devretmiştir. Bu düzenleme, meslek örgütlerinin devre dışı bırakılması, bilirkişilik hizmetinin

ticarileştirilmesi ve bağımsızlık ilkesiyle bağdaşmayan kurumsal yapı gibi gerekçelerle meslek çevrelerinde yoğun eleştirilere konu olmuştur.

Bu çalışmanın amacı; bilirkişilik müessesesinin hukuki ve uygulamadaki sorunlarını bütüncül bir perspektifle ele almak, 6754 sayılı Kanun'un getirdiği düzenlemeyi eleştirel biçimde değerlendirmek ve çözüm önerileri ortaya koymaktır. Çalışmada TMMOB bünyesindeki meslek odalarının bilirkişilik alanındaki birikimi, yürütülen çalıştay ve raporlardan elde edilen veriler ile ilgili akademik literatür esas alınmıştır.

2. BİLİRKİŞİLİK KAVRAMI VE TARİHSEL GELİŞİMİ

2.1. Tanım ve Hukuki Nitelik

6754 sayılı Bilirkişilik Kanunu'nun 2. maddesinde bilirkişi, "çözümü uzmanlığı, özel veya teknik bilgiyi gerektiren hâllerde oy ve görüşünü sözlü veya yazılı olarak vermesi için başvurulan gerçek veya özel hukuk tüzel kişisi" olarak tanımlanmıştır. Öğretide ise bilirkişilik bir meslek olarak değil, kişinin asıl mesleğine ek olarak, ihtiyaç duyulduğunda yerine getirdiği arızi bir kamu görevi şeklinde nitelendirilmektedir. Bu ayrımın pratik önemi büyüktür; zira bilirkişilik sürekli icra edilen bir faaliyet olmayıp, mesleki uzmanlığın yargıya sunulmasından ibarettir (TMMOB Bilirkişilik Çalışma Grubu, 2016).

Osmanlı hukuk geleneğinde günümüzdeki bilirkişilik işlevini karşılayan iki ayrı kavramın kullanıldığı görülmektedir: "ehl-i vukuf" ve "ehl-i hibre". Berki'nin aktarımına göre fen ve uzmanlığa dayanarak akıl yürütme ihtiyacını karşılamak üzere başvurulan kişi "ehl-i hibre", alelâde bilgi veren ise "ehl-i vukuf" olarak anılmıştır (Erdoğan ve Üçüncü, 2020). Bu ayrım, özel ve teknik bilgiye dayanan bilirkişilik ile genel yaşam deneyimine dayanan bilirkişiliği birbirinden ayırt etmesi bakımından günümüzde de analitik değerini korumaktadır.

Cumhuriyet döneminde bilirkişilik, 1927 tarihli 1086 sayılı HUMK ile ilk kez sistematik biçimde düzenlenmiş; 2011 tarihli 6100 sayılı HMK ile yeniden yapılandırılmış ve son olarakta, 6754 sayılı Bilirkişilik Kanunu ile ayrı bir mevzuata kavuşturulmuştur.

2.2. Bilirkişi Raporunun Hukuki Niteliği ve Delil Değeri

HMK'nın 266 ila 287. maddeleri arasında düzenlenen bilirkişi incelemesi, delil hukuku açısından "takdiri delil" kategorisinde yer almaktadır. Nitekim HMK m. 282'de "hâkim, bilirkişinin oy ve görüşünü diğer delillerle birlikte serbestçe değerlendirir" hükmü açıkça yer almakta; bununla birlikte uygulamada bilirkişi raporlarının çoğu zaman kesin delil gibi işlev gördüğü gözlemlenmektedir.

Erdoğan ve Üçüncü'nün (2020) kapsamlı çalışmasında ortaya koyduğu üzere, bilirkişi üç farklı işlev üstlenebilir: (i) mahkemeye salt özel veya teknik bir bilgiyi aktarmak (hâkim yardımcısı işlevi), (ii) sahip olduğu teknik bilgiyi somut vakıaya uygulayarak sonuç bildirmek (delil değerlendirme aracı işlevi) ve (iii) özel bilgisinden hareketle vakıa tespiti yapmak (delil işlevi). Bu ayrımın doğru belirlenmesi, bilirkişi giderlerinin hangi usul hükümleri çerçevesinde karşılanacağı ve hâkimin raporu nasıl değerlendireceği bakımından belirleyici öneme sahiptir.

Hâkim, bilirkişi raporunu değerlendirirken bilirkişinin uzmanlık yeterliliğini, incelemenin görev kapsamına uygunluğunu, raporun anlaşılırlığını, güvenilir ve doğrulanabilir teknik bilgiye dayanıp dayanmadığını ve varılan sonuçların tutarlılığını dikkate almalıdır (Erdoğan ve Üçüncü, 2020). Bununla birlikte, özellikle DNA analizi gibi matematiksel kesinlik arz eden bilimsel bulgular söz konusu olduğunda, hâkimin raporun aksine karar vermesi fiilen imkânsız hale gelmekte ve bilirkişi raporu fiilî bağlayıcılık kazanmaktadır.

Uygulamada sıklıkla karşılaşılan sorunlardan biri, yargıçların doğrudan bilirkişilikle ilgisi olmayan hukuki meselelerde de bilirkişiye başvurmasıdır. Oysa hâkimin kendi hukuki bilgisiyle çözüme kavuşturabileceği konularda bilirkişiye başvurulması hem HMK m. 266 hem de 6754 sayılı Kanun m. 3/3 hükmüne aykırıdır.

3. 6754 SAYILI BİLİRKİŞİLİK KANUNU: ELEŞTİREL BİR DEĞERLENDİRME

3.1. Kanunun Genel Çerçevesi ve Getirdiği Yenilikler

6754 sayılı Bilirkişilik Kanunu, önceki dönemde dört ayrı kanaldan yürütülen bilirkişilik başvurularını tek bir sisteme bağlamış; Adalet Bakanlığı Hukuk İşleri Genel Müdürlüğü bünyesinde Bilirkişilik Daire Başkanlığı ile dokuz ilde (Adana, Ankara, Antalya, Bursa, Erzurum, Gaziantep, İstanbul, İzmir, Samsun) Bilirkişilik Bölge Kurulları kurulmuştur. Kanunla getirilen temel yenilikler şöyle özetlenebilir:

- Bilirkişilik başvurularının yalnızca Bölge Kurullarına yapılması zorunluluğu,
- Bilirkişilik Temel Eğitimi alınmasının zorunlu hale getirilmesi ve sertifikasyona bağlanması,
- Bilirkişilik yapacağı uzmanlık alanında en az beş yıl fiilen çalışma şartı,
- TMMOB ve bağlı odalarının temel eğitim verebilecek yetkili kuruluşlar arasına dahil edilmesi,
- Aynı konuda tek rapor alınması ilkesinin benimsenmesi,
- UYAP-Bilirkişilik Portalı üzerinden bilirkişi ataması hedefi.

TMMOB Yönetim Kurulu Başkanı Emin Koramaz'ın da vurguladığı üzere, başvurularda tek bir standart getirilmesi olumlu karşılanmış; ancak sistemin Adalet Bakanlığı bünyesinde kurgulanması ve meslek örgütlerinin süreçten dışlandığı yapı, bilirkişiliğin ruhuna aykırı bulunmuştur (TMMOB, 2019).

3.2. Anayasaya Aykırılık İddiaları

TMMOB Bilirkişilik Çalışma Grubu'nun hazırladığı raporda ve doktrinde, 6754 sayılı Kanun'un çeşitli Anayasa hükümleriyle çeliştiği ileri sürülmektedir. Bu iddialar üç temel eksende toplanmaktadır:

Birinci eksende, bilirkişinin bağımsızlığı ve mahkemelerin bağımsızlığı arasındaki ilişki yer almaktadır. Bilirkişinin tarafsızlığı yalnızca tarafların etkisinden bağımsız olmayı değil; aynı zamanda yürütme organının müdahalesinden de uzak tutulmayı gerektirmektedir. İdare mahkemelerinde davanın taraflarından birinin bizzat idare olduğu düşünüldüğünde, bilirkişilerin idarenin denetiminde bulunan bir kurumun listesinden seçilmesi, Anayasa m. 138'in öngördüğü yargı bağımsızlığı ilkesiyle bağdaşmamaktadır (TMMOB Bilirkişilik Çalışma Grubu, 2016).

İkinci eksende, Anayasa m. 135'in öngördüğü kamu kurumu niteliğindeki meslek kuruluşlarının görev ve yetkilerinin yok sayılması bulunmaktadır. TMMOB ve bağlı odaları, 6235 sayılı TMMOB Kanunu uyarınca üyelerinin mesleki faaliyetlerini denetlemek, sicillerini tutmak ve uzmanlıklarını belgelemekle yükümlüdür. Bilirkişilik alanındaki listeleme, eğitim ve denetim yetkisinin idari bir birime devredilmesi bu hükmü fiilen işlevsiz kılmaktadır.

Üçüncü eksende ise bilirkişilik görevinin kamu hizmeti niteliği ön plana çıkmaktadır. Bilirkişi, adalet hizmetlerinin ifasına kamu görevlisi sıfatıyla katkı sağlayan bir konumdadır. Bu çerçevede bilirkişilik yetkisinin Türk vatandaşlarına hasredilmesini gerektiren bir düzenleme yapılmaması, Anayasa m. 70 hükmüyle çelişmektedir. Nitekim Anayasa Mahkemesi'nin 03.06.2010 tarihli E:2009/69, K:2010/79 sayılı kararında, Yüksek Sağlık Şurası'na bilirkişilik görevi veren yasal düzenleme mahkemelerin bağımsızlığıyla bağdaşmadığı gerekçesiyle iptal edilmiştir.

3.3. Özel Hukuk Tüzel Kişilerine Bilirkişilik Yolunun Açılması

Kanunun tartışmalı hükümlerinden biri, tüzel kişilere bilirkişilik yapma imkânı tanımasıdır. TMMOB, EMO Ankara Şubesi ve akademisyenlerin büyük çoğunluğu bu düzenlemeye şiddetle karşı çıkmıştır. Gerekçe şu şekilde özetlenebilir: Bilirkişilik, somut bir vakıa hakkında

bireysel sorumluluk ve vicdani kanaat içeren, gerçek kişi tarafından icra edilmesi zorunlu bir görevdir. Tüzel kişilere bu yolun açılması, bilirkişilik hizmetini ticari bir faaliyete dönüştürerek tarafsızlık ilkesini tehlikeye atmaktadır (TMMOB, 2019; Özdemir, 2015).

Nitekim özel hukuk tüzel kişilerine bilirkişilik yolunun açılmasının yapı denetim şirketlerinin yarattığı sorunları tekrarlayacağı kaygısı, meslek çevrelerinde yaygın biçimde dile getirilmektedir.

3.4. Bilirkişilik Bölge Kurullarının Yapısı ve Meslek Odalarının Dışlanması

Tamamı hâkim ve savcılardan oluşan Bilirkişilik Bölge Kurulları, bilirkişilik başvurularını değerlendirme, listeleri oluşturma ve bilirkişilerin performansını ölçme görevlerini üstlenmektedir. Ancak bu kurullarda mühendislik, mimarlık ve şehir plancılığı gibi teknik disiplinleri temsil eden herhangi bir meslek odası temsilcisine yer verilmemektedir.

Bu yapının pratik sonucu çarpıcıdır: Hâkim ve savcılardan oluşan kurul üyeleri, teknik uzmanlık alanlarının sınırlarını ve gerektirdiği yetkinlik koşullarını yeterince bilemeyeceğinden liyakat değerlendirmeleri eksik ya da hatalı yapılmaktadır. Nitekim 2018 ve 2019 yılı bilirkişilik başvurularında pek çok TMMOB üyesinin uzmanlık alanlarının belirlenmesinde liyakat ilkesine gerektiği özenin gösterilmediği yönünde somut geri bildirimler alınmıştır (TMMOB, 2019).

Bunun yanı sıra, 18 üyeden oluşan Bilirkişilik Danışma Kurulunda TMMOB yalnızca bir temsilciyle yer alabilmektedir. Bilirkişilik görevinin büyük bölümünü mühendis, mimar ve şehir plancılarının yürüttüğü gözetildiğinde, bu temsil oranı sembolik kalmakta ve kurulun danışma işlevi fiilen anlamsızlaşmaktadır.

3.5. Kamulaştırma Bilirkişiliğindeki Dönüşüm

2942 sayılı Kamulaştırma Kanunu'nun 15. maddesi, onlarca yıl boyunca TMMOB ve bağlı odaların eğittiği ve belgelendirdiği yaklaşık otuz bin mühendis, mimar ve şehir plancısının kamulaştırma bilirkişilik listelerini oluşturduğu köklü bir sistemi destekliyordu. 6754 sayılı Kanun bu sistemi fiilen ortadan kaldırmış; kamulaştırma davaları hukuk davalarında bir uzmanlık alanı olarak yeniden tanımlanmıştır.

Bunun yanı sıra Kanun, kamulaştırma bedelinin tespitinde "Sermaye Piyasası Kurulu tarafından kabul edilen değerleme standartlarına uygun" ifadesini metne ekleyerek Kamulaştırma Kanunu'ndaki değerleme kriterlerinin uygulanmasında ciddi bir belirsizliğe yol açmıştır. Uygulamada bazı bilirkişilerin SPK değerleme standartlarını kamulaştırmada tanımlanmış yöntemlerin yerini almak üzere uyguladığı ve bunun kamulaştırmanın ruhuna aykırı sonuçlar doğurduğu gözlemlenmiştir (TMMOB, 2019).

4. UYGULAMADA BİLİRKİŞİLİK SORUNLARI

4.1. Genel Sorunlar

6754 sayılı Kanun'un yürürlüğe girmesinin ardından geçen süreçte TMMOB bünyesinde yürütülen çalıştay, sempozyum ve alan araştırmalarında sorunlar dört ana başlık altında tespit edilmiştir:

- Farklı müracaat mekanizmalarının yarattığı karmaşa ve liste oluşturma sürecindeki aksaklıklar,
- Bilirkişilik uzmanlık alanlarının yeterince tanımlanamaması,
- Yargıçların bilirkişilerden ne istediklerini açık ve belirleyici biçimde ifade etmemeleri, yazılı olarak sunmamaları,
- Bilirkişi raporlarının gerekli özen ve nitelikle hazırlanmaması ya da hazırlanamaması.

Bu sorunların birbiriyle bağlantılı olduğu ve sistematik çözümler gerektirdiği açıktır. Örneğin, yargıcın görevi yeterince somutlaştırmaması halinde bilirkişi dosya içinden kendi görevini

kendisi çıkarmakta; bu da tekrar tekrar ek rapor alınmasına ve yargılama sürecinin uzamasına neden olmaktadır (Özdemir, 2015).

4.2. Uzmanlık Alanlarının Belirlenmesindeki Sorunlar

Bilirkişilik Daire Başkanlığı'nın yayımladığı uzmanlık alanı listesinde temel uzmanlık alanları, alt uzmanlık alanları ve uygulama alanları birbiriyle karıştırılmış; multidisipliner alanlarda hangi mesleklerin yetkili olduğu yeterince netleştirilmemiştir. Bu durum özellikle inşaat sektöründe derin sorunlara yol açmaktadır. Örneğin, yapı denetim hizmetleri (Kod 13.01) yalnızca inşaat mühendisliğinin alt uzmanlığı olarak göründüğünden, fiilen yapı denetim görevlisi olarak çalışan ve Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nca belgelendirilmiş mimarlar ile diğer mühendisler bu alanda bilirkişilik başvurusunda bulunamamaktadır (TMMOB, 2019).

Benzer biçimde, etüt-proje hizmetleri (13.02), yapı malzemeleri (13.08), yapı maliyeti analizleri (13.10), yapım yönetimi (13.11) ve yalıtım (13.14) gibi alanlar farklı mühendislik ve mimarlık disiplinleri tarafından ortaklaşa yürütülmesine karşın yalnızca tek bir meslek grubu için tanımlanmıştır.

Bu sorunu gidermek için TMMOB'nin önerisi şudur: Tüm meslek odaları kendi alanlarıyla ilgili uzmanlık ve alt uzmanlık alanlarını Bakanlığa bildirmeli, Bakanlık da ortak uzmanlık alanlarını dikkate alarak listeyi yeniden düzenlemeli ve ilgili meslek odalarının görüşünü alarak ilan etmelidir (TMMOB, 2019).

4.3. Liyakat İlkesinin Uygulanmaması

6754 sayılı Kanun'un 11. maddesinin üçüncü fıkrasında Bölge Kurullarının sicile kayıt kararı verirken "en liyakatli olanları" seçmesi gerektiği hükmüne yer verilmiştir. Ne var ki uygulamada bu hükmün işletilmediği görülmektedir; uzmanlık belgeleri yetersiz ya da eksik olan, ilgili alanda yeterli eğitim almamış kişilerin bilirkişi listelerinde yer aldığı, değişik sıfatlarla Bilirkişi Heyetlerinde görev yaptıkları görülmüştür. (Gayrimenkul Değerlendirme Uzmanı, Değerlendirme Uzmanı, Şehir Planlama Uzmanı vd.)

Güneştaş'ın (2022) aktardığı Yargıtay kararlarına bakıldığında, hüküm bozma gerekçelerinin büyük bölümünün bilirkişinin ilgili alanda gerçek uzmanlığa sahip olmamasından ya da dava konusunu kapsayan uzmanlıktan yoksun kişinin bilirkişi olarak görevlendirilmesinden kaynaklandığı görülmektedir. Bu çerçevede bilirkişinin yetkinliğine ilişkin sorunlar üç başlık altında toplanmaktadır: (i) bilirkişinin yeterli uzmanlık düzeyine sahip olmaması, (ii) herhangi bir uzmandan yararlanılmaması ve (iii) davayı ilgilendiren özgül uzmanlık alanında yetkin kişiden yararlanılmaması.

4.4. Görevlendirme Süreci ve UYAP Sistemi

Kanunun öngördüğü UYAP-Bilirkişilik Portalı üzerinden otomatik atama sistemi tam anlamıyla hayata geçirilememiş; atamalar büyük ölçüde eski yönteme, yani yargıçların doğrudan tercihine bırakılmaya devam etmektedir. Bu durum iki temel sorunu beraberinde getirmektedir.

Birincisi, bazı bilirkişilerin çok sayıda dosya üstlenirken aynı uzmanlık alanındaki ve aynı niteliklere sahip başka bilirkişilerin hiç dosya almadığı gözlemlenmektedir; bu durum adil dosya dağılımının sağlanamadığını ortaya koymaktadır (TMMOB, 2019). Yıllık azami dosya sayısına ilişkin hesaplamalar, bir bilirkişinin kaliteli rapor üretebilmesi için yılda en fazla 120-135 dosyayı makul biçimde inceleyebileceğini göstermektedir.

İkincisi, mahkeme kalem personelinin —hakimler yerine— fiilen bilirkişi seçimini yönlendirdiği durumlar mevcuttur. Bu uygulama hem yasal düzenlemeyle hem de yargı bağımsızlığı ilkesiyle çelişmektedir.

Öte yandan, heyet oluşturulan davalarda bilirkişilerin koordinasyon güçlükleri yaşadığı, dosya inceleme sürelerinin heyetteki farklı bilirkişiler arasında uyumsuzluk yaratarak rapor teslimini geciktirdiği saptanmıştır. Adliye binalarında, bilirkişilere ve heyetlerine ayrı çalışma mekânı

sağlanmaması da bu sorunu derinleştirmektedir.

4.5. Bilirkişilik Ücretleri

2018 Yılı Bilirkişilik Asgari Ücret Tarifesi, 2011 yılında yayımlanan değerlerin esas alınmasıyla oluşturulmuş ve günümüz koşullarına uyarlanamamıştır. Bunun sonucunda bilirkişilere ödenen ücretler emekleri ve harcadıkları zamanla kıyaslandığında çoğu zaman yetersiz kalmaktadır. Keşif heyetiyle gidilen araçlar için ödenen ücretle kıyaslandığı vakalar mevcuttur. Bilirkişilerin görevlerini kaliteli biçimde yerine getirip getiremeyeceği büyük ölçüde bu ücret dengesine bağlıdır.

Özellikle kat karşılığı inşaat sözleşmelerinden doğan uyuşmazlıklar, tazminat davaları ve inşaat tespit dosyaları gibi yoğun emek gerektiren dosyalarda raporun hazırlanma süreci haftalarca hatta aylarca sürebilmektedir. Buna karşın mahkemeler çoğunlukla bu tür dosyalar için de standart bir ücret belirlemekte; bilirkişilerin sunduğu bedel artırım talepleri ise yeterince karşılık bulmamaktadır (TMMOB, 2019). Bu tablonun doğrudan sonucu, deneyimli ve alanında yetkin uzmanların bilirkişilik sisteminden giderek uzaklaşması,"küsmesine" ve görev almaktan kaçınmalarına yol açmaktadır.

Konuya ilişkin çözüm önerileri üç başlık altında sıralanabilir: (i) ücret tarifesinin Maliye Bakanlığı'nın yeniden değerleme katsayısıyla her yıl güncellenmesi; (ii) proje ve sözleşme incelemesi gerektiren dosyalar için asgari ücret tabanı belirlenmesi; (iii) bilirkişinin görevlendirilme öncesinde dosyanın büyüklüğüne göre tahmini ücret hakkında yargıca görüş bildirme hakkının tanınması.

4.6. Rapor Kalitesi ve Süre Yönetimi

Bilirkişilik Temel Eğitimi'nde teorik eğitim (18 saat) ile uygulama eğitimi (6 saat) arasındaki oranın pratiği karşılamadığı, eğitim alan kişilerin büyük çoğunluğu tarafından dile getirilmektedir. TMMOB'nin önerisi teorik/uygulama dengesinin 12/12 ya da en azından 15/9 saat olarak yeniden düzenlenmesi yönündedir (TMMOB, 2019).

Mahkemelerin bilirkişilere verdiği rapor hazırlama süreleri, özellikle yüksek mahkemeler ve idare mahkemelerindeki kapsamlı dosyalar söz konusu olduğunda genellikle yetersiz kalmaktadır. Yargılama sistemi benzer bir davayı en az altı ay sürede karara bağlarken teknik bilgi gerektiren konularda bilirkişiye yalnızca birkaç hafta süre tanınması çelişki yaratmakta ve özensiz raporların doğmasına zemin hazırlamaktadır.

Ayrıca bilirkişi raporları ile uzman görüşleri arasındaki çelişki de ciddi bir sorun olmaya devam etmektedir. Bir çok dosyada uzman görüşüne yer verilmediği ortadadır. Söz gelimi, aynı Ada/Parsel üzerinde yapılan yapı ile ilgili, daha önceden yapılan tespitler, yapısal özellikler aynı olduğundan değişmeyeceği ortadadır. Hukuk sisteminde, her dava ayrı bir olgu olarak yer aldığından, önceki raporlarla yeni yazılan raporlar arasında bir takım maddi çelişkiler, metrekare bilgileri, kullanım alanları vb. farklı Bilirkişi Raporlarına rastlanabilmektedir. Yargıtay içtihatları, bu tür çelişkilerin varlığında dosyanın yeni bir bilirkişiye tevdi edilmesini gerektirmekte; ancak bu meseleyi düzenleyen açık bir yönetmelik hükmü bulunmamaktadır. Tarafların bu raporlara dayanarak yaptıkları itirazlar neticesinde ek raporlar, savunma dilekçeleri, tekrar ek raporlar diye süre uzatılabilmektedir. Uygulamada 8. Hatta 9. Ek Rapor yazan Bilirkişilerin olduğu bilinmektedir. İşbu Ek Raporlarla Bilirkişiye hiçbir ücret ödenmemekle birlikte, dava sürecinin daha da uzayarak, Adaletin zamanında tecellisine olan inancın zayıflamasına neden olmaktadır. Güneştaş (2022), çelişkinin nasıl giderileceğini düzenleyen bir alt mevzuatın çıkarılmasının yargılamaların uzamasını önleyeceğini vurgulamaktadır.

4.7. Bilirkişinin Gerçeğe Aykırı Beyanı ve Sorumluluk

Türk Ceza Kanunu'nun 276. maddesi, gerçeğe aykırı bilirkişilik yapılması halinde üç yıldan yedi yıla kadar hapis cezası öngörmektedir. Bu yaptırımın 6754 sayılı Kanun ile ağırlaştırılması

bir yandan bilirkişileri etik dışı davranışlardan caydırmayı hedeflerken, öte yandan devlet memuru konumundaki bilirkişiler açısından alt sınırdan cezaya çarptırılma halinde bile, görevden ihraç gibi ağır sonuçlar doğurmaktadır. Meslek çevrelerinde bu ağır yaptırımın, uzun süre Kamuda çalışan, özellikle İhale Kanunu gibi spesifik konularda deneyimli, nitelikli uzmanların bilirkişilikten uzaklaştırabileceğine ilişkin kaygılar mevcuttur. Ayrıca, her ne kadar Bilirkişilik bir Kamu görevi olarak tanımlansa da, uygulamada, idarelerin bakış açısının farklı olduğu görülmüştür. Mahkeme keşfine giden Memur Bilirkişilerin mesailerini aksattığı, ekstra bir gelir elde ettiği gözönüde bulundurularak, görev yapılan idarelerden keşfe katılmak için izin almada sıkıntılar yaşandığı bildirilmiştir. Devlet memurlarının atamaya yetkili amirin izni olmaksızın mahkemelerde bilirkişi olarak görev yapmaları ve takdir olunan bilirkişi ücretlerini almalarının mümkün bulunmaktadır. *Adalet Bakanlığı Hukuk İşleri Genel Müdürlüğünün 19.11.2024 tarihli ve E-51376050- 650[650.02.2.2024]-552/27636 sayılı görüş yazısı, TMMOB Odaları Ortak Görüşü, 2016* Bu görüş ve Devlet Personel Daire Başkanlığının benzer resmi görüşü olmasına rağmen, amirlerden izin alma konusunda sıkıntı yaşadıkları, arada kaldıkları, keşifler için Saatlik izin ya da Yıllık izin kullandıkları malumdur.

Sorumluluk hukuku açısından ise bilirkişinin kasten ya da ağır ihmal sonucu gerçeğe aykırı rapor vermesi ve bu raporun hüküm kurulmasına esas alınması halinde zarar gören taraflara devlet aleyhine tazminat davası açma hakkı tanındığı belirtilmektedir (HMK m. 285/1).

5. MESLEK ODALARININ ROLÜ VE TMMOB'NİN ÖNERİLERİ

5.1. TMMOB'nin Tarihsel Birikimi

TMMOB, 2004 yılındaki 38. Genel Kurulu'nda bilirkişilik alanının evrensel geçerliliği olan bilimsel ve etik ilkeler doğrultusunda düzenlenmesi kararını almış; bu karar doğrultusunda 2005 yılında TMMOB Bilirkişilik Yönetmeliği yayımlanmıştır. Kanun öncesi dönemde özellikle 2942 sayılı Kamulaştırma Kanunu'nun 15. maddesi kapsamında yürütülen faaliyetler sayesinde otuz bine yakın mühendis, mimar ve şehir plancısı eğitimden geçirilmiş, sınav başarısına bağlı olarak belgelendirilmiş ve bölge listelerine dahil edilmiştir (TMMOB, 2019).

2018 itibarıyla TMMOB bünyesindeki yirmi Odanın Bilirkişilik Temel Eğitimi verme yetkisi bulunmakta; 2018 yılında toplam elli bir ilde gerçekleştirilen 251 eğitimde 4.379 katılımcıya sertifika düzenlenmiştir. Bu veri, TMMOB'nin bilirkişilik eğitimindeki kurumsal kapasitesini ve alandaki deneyimini somut biçimde ortaya koymaktadır.

5.2. Meslek Odalarının Süreçten Dışlanması

6754 sayılı Kanun, bilirkişilik alanındaki uzmanlık belirleme, eğitim, belgelendirme ve denetim yetkilerini tek elde toplayarak meslek odalarını bu süreçlerden büyük ölçüde dışlamıştır. Bu durum hem teknik hem de anayasal açıdan sorunludur. Teknik açıdan, hâkim ve savcılardan oluşan Bölge Kurullarının mühendislik uzmanlık alanlarını tek başına doğru değerlendirmesi güçtür. Anayasal açıdan ise Anayasa m. 135 ve 6235 sayılı TMMOB Kanunu'nun meslek odalarına tanıdığı görev ve yetkiler fiilen işlevsiz kılınmaktadır.

TMMOB, bu yapının yarattığı boşluğu doldurmak amacıyla bilirkişilik uzmanlık alanlarının meslek odaları kanalıyla belirlenmesi, başvuruların oda üyelik durumu dikkate alınarak değerlendirilmesi, hazırlanan listelerin ilan öncesinde ilgili odalara iletilerek kontrol edilmesi ve Bölge Kurullarında meslek odaları temsilcilerine daha fazla yer verilmesi taleplerini kamuoyuyla paylaşmıştır (TMMOB I. Bilirkişilik Çalıştayı Sonuç Bildirisi, 2015).

6. ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

6.1. Kurumsal ve Yapısal Öneriler

- Bilirkişilik Bölge Kurulları, ilgili meslek odası temsilcilerini de kapsayacak biçimde yeniden yapılandırılmalıdır. Hangi uzmanlık alanının söz konusu olduğuna göre ilgili meslek odası temsilcisinin kurula katılması sağlanmalıdır.
- Bilirkişilik Danışma Kurulunda TMMOB ve bağlı odaların temsili, bilirkişilik görevini üstlenen üye sayısıyla orantılı biçimde artırılmalıdır.
- Uzmanlık alanlarının tespitinde ilgili üniversiteler, meslek örgütleri ve sivil toplum kuruluşlarının görüşü sistematik biçimde alınmalıdır.
- Hazırlanan bilirkişi listelerinin ilanından önce ilgili meslek odalarına gönderilerek kontrol edilmesi zorunlu hale getirilmelidir.
- Özel hukuk tüzel kişilerine bilirkişilik yolunun açılmasından vazgeçilmeli ya da en azından bu düzenlemenin uygulaması kapsamlı biçimde izlenmelidir.

6.2. Eğitim ve Belgelendirme

- Bilirkişilik Temel Eğitimi'nin teorik ve uygulamalı saatleri yeniden dengelenmeli; uygulama saatinin en az 9-12 saate yükseltilmesi sağlanmalıdır.
- Meslek içi bilirkişilik eğitimlerinin ilgili meslek odaları tarafından düzenlenmesi esas alınmalı; böylece uzmanlık alanına özgü teknik içerik ile hukuki eğitim bir arada sunulabilmelidir.
- Güncelleme eğitimlerinin kişinin mensup olduğu meslek odasından alınması teşvik edilmeli ve bu yönde mevzuatta açıklık sağlanmalıdır.
- Akademisyenlerin bilirkişilik sistemine entegrasyonu kolaylaştırılmalı; üniversitelerin ilgili birimleri uzmanlık listelerini Bölge Kurullarına bildirmeye yönlendirilmelidir.

6.3. Görevlendirme ve Dosya Dağılımı

- UYAP-Bilirkişilik Portalı üzerinden sıralı, eşit ve kotalı otomatik dosya dağıtımı tam kapasitesiyle işler hale getirilmeli; bilirkişi görevlendirmelerinde mahkeme kalem personelinin inisiyatif alanı daraltılmalıdır.
- Bilirkişi heyeti oluşturulduğunda, dosyanın tüm heyet üyelerine eş zamanlı teslim edilmesi sağlanmalı ve adliye binalarında heyet çalışmasına imkân tanıyacak mekânlar oluşturulmalıdır.
- Bilirkişilerin görevlendirme zaptına uzmanlık alanı kodlarının da eklenmesi, denetim süreçlerinde şeffaflığı artıracaktır.
- Bilirkişilik başvuru takvimi yılda en az iki kez olmak üzere düzenlenmelidir; bu sayede hem eğitim organizasyonu kolaylaşacak hem de değerlendirme süreçleri daha sağlıklı yürütülecektir.

6.4. Ücretlendirme

- Bilirkişilik asgari ücret tarifesi her yıl Maliye Bakanlığı'nın yeniden değerleme katsayısıyla güncellenmeli; böylece tarifeye olan güven korunmalıdır.
- Proje ve sözleşme incelemesi gerektiren dosyalar için dosya niteliğine göre farklılaştırılmış asgari ücret tabanı belirlenmeli, yüksek emek gerektiren dosyalarda ek ücret mekanizması etkin biçimde işletilmelidir.
- Yargıçların dosya ücreti takdir ederken bilirkişinin görüşüne başvurabilmesinin önü açılmalı; bu yaklaşım zamanla adil bir ücretlendirme kültürünün yerleşmesini sağlayacaktır.

6.5. Denetim ve Kalite Güvencesi

- Bilirkişi raporlarında ortak bir format standartı oluşturulmalı; raporların bilimsel tutarlılık, gerekçe yeterliliği ve teknik doğruluk bakımından denetlenmesi güçlendirilmelidir. Bu hususta Örnek Rapor formatı yayınlandığı görülmüştür.
- Puanlama esaslı bilirkişi performans sistemi hayata geçirilmeli; Kanun yolu incelemesinde tespit edilen yetersiz raporlar bilirkişinin sicil dosyasına işlenmelidir.
- Bilirkişi raporu ile uzman görüşü arasındaki çelişkilerin nasıl giderileceğine ilişkin açık bir yönetmelik düzenlemesi yapılmalıdır.

7. SONUÇ

Bilirkişilik müessesesi, Türk yargı sisteminin işleyişinde vazgeçilmez bir konuma sahip olmakla birlikte köklü yapısal sorunlarla maluldür. 6754 sayılı Bilirkişilik Kanunu, başvuru sistemini tekleştirme, UYAP Bilişim Sisteminin kullanılması ve Bilirkişi Eğitimi zorunlu hale getirme gibi olumlu adımlar atmış; ancak bilirkişilerin bağımsızlığını ve tarafsızlığını güvence altına alacak kurumsal mimaride yetersiz kalmıştır.

Bilirkişilik Bölge Kurullarında meslek odalarına yer verilmemesi, uzmanlık alanlarının meslek örgütleriyle ortaklaşa belirlenmemesi, liyakat ilkesinin uygulamaya yansımaması ve özel hukuk tüzel kişilerine bilirkişilik yolunun açılması; adil yargılanma hakkı, mahkemelerin bağımsızlığı ve bilimin rehberliğinde karar verme ilkeleri açısından ciddi riskler barındırmaktadır.

Çözüm yalnızca mevzuat düzenlemesiyle değil, kurumsal işbirliğinin pekiştirilmesiyle mümkündür. Adalet Bakanlığı, Bilirkişilik Daire Başkanlığı, Bölge Kurulları ve TMMOB ile bağlı odalar arasında sürdürülebilir bir diyalog mekanizması kurulması; bilirkişilik sisteminin güvenilirliğini artıracak, davaları kısaltacak ve nihai olarak toplumun yargıya olan güvenini pekiştirecektir.

Sonuç olarak bilirkişilik, kişinin asıl mesleğinde edindiği uzmanlığın yargıya aktarılmasından ibaret olup bir meslek değil, bir kamu görevidir. Bu niteliğin korunması; meslek odalarının denetim ve belgelendirme işlevlerini etkin biçimde yerine getireceği, yargıçların bilirkişiyi gerçek anlamda hâkim yardımcısı olarak konumlandıracağı ve bilirkişilerin emeklerine karşılık adil ücret alacağı bir sistemin inşasını zorunlu kılmaktadır.

KAYNAKÇA

Erdoğan, E. ve Üçüncü, S. H. (2020). Bilirkişilik Kurumu ve Bilirkişi Raporunun Delil Değerine İlişkin Bazı Sorunlar.
Hacettepe Hukuk Fakültesi Dergisi, 10(1), 354-387. DOI: 10.32957/hacettepehdf.747897

Güneştaş, M. (2022). Adli Muhasebe Boyutunda Bilirkişilik ve Bilirkişilik Müessesesine İlişkin Sorunların Değerlendirilmesi. Yayımlanmamış çalışma.

Karaburun, G. (2017). Karar Örnekleriyle Yargıtay'ın Bilirkişiliğe Bakışı ve Bilirkişiliğin Sorunları.
Adli Tıp Bülteni, 22(3), 200-207.

Özdemir, M. (2015). Türk Hukuk Sisteminde Bilirkişilik.
TMMOB EMO Ankara Şubesi Haber Bülteni, 2015/2, 6-8.

TMMOB. (2019). Bilirkişilik Alanında Yaşanan Sorunlar ve Çözüm Önerileri Raporu. Nisan 2019. Ankara: Patika Ajans.

TMMOB Bilirkişilik Çalışma Grubu. (2016). Bilirkişilik Kanununa İlişkin İtirazlarımız, Yasal Karşılığı Hakkında Rapor. Aralık 2016. Ankara: TMMOB.

TMMOB. (2015). I. Bilirkişilik Çalıştayı Sonuç Bildirisi (19 Aralık 2015). Ankara: TMMOB.

Yücel, A. R. (2008). Bilirkişilik Kurumu ve Uygulamadaki Sorunlar.
Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı: 447, 2008/1, 47-53.

Mevzuat

- 6754 Sayılı Bilirkişilik Kanunu (24 Kasım 2016 tarihli ve 29898 sayılı Resmî Gazete).
- Bilirkişilik Uygulama Yönetmeliği (3 Haziran 2017 tarihli Resmî Gazete).
- 6100 Sayılı Hukuk Muhakemeleri Kanunu (HMK).
- 2942 Sayılı Kamulaştırma Kanunu.
- 6235 Sayılı Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Kanunu.
- 5237 Sayılı Türk Ceza Kanunu, m. 276.
- Anayasa Mahkemesi Kararı, E:2009/69, K:2010/79 (03.06.2010).

ÜRETKEN YAPAY ZEKÂ KAYNAKLI GERÇEK DIŞI YARGI KARARI ATIFLARI: MEDENÎ YARGILAMADA AVUKATIN DOĞRULAMA YÜKÜMLÜLÜĞÜ VE USULÎ SONUÇLARI

Vedat ÇALIŞKAN
Erciyes University, Institute of Social Sciences, PhD Program in Private Law (Civil Procedure and Enforcement and Bankruptcy Law), Kayseri, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-5853-2806

ÖZET
Üretken yapay zekâ araçlarının hukukî araştırma ve dilekçe hazırlama süreçlerinde kullanılması, hukukçulara önemli kolaylıklar sağlarken, gerçekte mevcut olmayan yargı kararlarının, gerçek kararlara ait olmayan alıntıların veya hatalı karar bilgilerinin ikna edici bir görünümle metne taşınması riskini de doğurmaktadır. Bu çalışma, gerçek dışı yargı kararı atıflarının Türk medenî usul hukukundaki normatif yerini ve özellikle avukat bakımından doğrulama standardının hukukî temelini incelemektedir. HMK m. 29, 30, 33, 327 ve 329 ile Avukatlık Kanunu m. 34, 134 ve ilgili disiplin çerçevesi doktriner yöntemle değerlendirilmiş; ABD, İngiltere ve Galler, Almanya, Ontario, New South Wales ve Yeni Zelanda'daki güncel düzenleme ve kararlar işlevsel karşılaştırma yöntemiyle ele alınmıştır. Çalışma, gerçekte mevcut olmayan bir kararın hukukî otorite olarak gösterilmesinin, HMK m. 29/2'deki vakıaya ilişkin doğruyu söyleme yükümlülüğüne doğrudan ve tartışmasız biçimde yerleştirilemeyeceğini; daha güçlü değerlendirmenin HMK m. 29/1'deki usulî dürüstlük ilkesi ile avukatın Avukatlık Kanunu'ndan kaynaklanan özen ve doğruluk yükümlülüğü birlikte ele alınarak yapılabileceğini savunmaktadır. 28 Ağustos 2026 tarihli Türkiye Barolar Birliği Tavsiye Rehberi bu meslekî standardı yapay zekâ bağlamında somutlaştırmaktadır. Basit künye hatası, doğrulanmamış yapay zekâ çıktısı, ağır ihmal ve bilinçli sahtelik aynı sonuca bağlanmamalıdır. Karşılaştırmalı inceleme sonucunda, genel bir yapay zekâ kullanım beyanı yerine; kararın gerçekliği, kimlik bilgileri ve doğrudan alıntının doğruluğuna odaklanan teknoloji-nötr bir doğrulama standardı önerilmekte, zorunlu sertifikasyonun ise ancak açık hukukî dayanak ve ortaya konmuş ihtiyaç bulunması hâlinde düşünülmesi gerektiği sonucuna varılmaktadır.

Anahtar kelimeler: Üretken yapay zekâ, medenî usul hukuku, gerçek dışı yargı kararı atfı, avukatın özen yükümlülüğü, doğrulama yükümlülüğü.

GENERATIVE AI–BASED FALSE JUDICIAL DECISION CITATIONS: COUNSEL'S DUTY OF VERIFICATION AND PROCEDURAL CONSEQUENCES IN CIVIL PROCEEDINGS

ABSTRACT
The growing use of generative artificial intelligence in legal research and the preparation of court submissions offers substantial practical benefits, while also creating a risk that nonexistent judicial decisions, fabricated quotations, or inaccurate case identifiers may enter legal documents in a persuasive form. This study examines the normative position of false citations to judicial decisions under Turkish civil procedure and, in particular, the legal basis of counsel's verification standard. Articles 29, 30, 33, 327 and 329 of the Turkish Code of Civil Procedure, together with Articles 34 and 134 of the Attorneyship Law and the relevant disciplinary framework, are examined doctrinally. Recent approaches in the United States, England and Wales, Germany, Ontario, New South Wales and New Zealand are assessed through functional comparison. The study argues that presenting a nonexistent judicial decision as legal authority cannot be directly and uncontroversially subsumed under the duty of factual truthfulness in

Article 29(2). A stronger analysis combines the procedural duty of good faith in Article 29(1) with counsel's professional duties of care and accuracy under the Attorneyship Law. The Union of Turkish Bar Associations' (TBB) advisory guide of 28 August 2026 now concretizes this professional standard in the context of AI use. A clerical citation error, an unverified AI-generated output, egregious negligence, and intentional fabrication should not be treated the same. The comparative analysis supports a technology-neutral verification standard that emphasizes the authenticity of the authority, with particulars and the accuracy of direct quotations, rather than the general disclosure of AI use.
Keywords: Generative artificial intelligence, civil procedure, false citation to judicial decisions, counsel's duty of care, duty of verification.

1. INTRODUCTION

Generative AI is making its way into the practice of legal research and pleading not as an extraordinary tool but as a likely part of everyday workflows. The problem's importance in civil procedure is less about the technology's novelty and more about its impact on the reliability of legal information presented to the court. Unlike source-search engines that simply extract existing records, large language models generate new text based on context. In this process, an apparent legal text can become persuasive. persuasive. The introduction of a non-existent case name, case/decision number, or direct quote can make an apparent legal text persuasive in this process. A non-existent case name, case/decision number, or direct quote can make an apparent legal text persuasive. Technical studies have shown that general-purpose models and specific research systems supported by legal databases still need verification.[7] These are empirical results obtained for particular systems and tasks; they do not support a fixed error rate for all current AI products.

By the summer of 2026, the debate in Türkiye had shifted to more tangible ground. The Union of Turkish Bar Associations, in its Advisory Guide on the Use of AI for Lawyers, issued on 28 August 2026, defines hallucination as the production of nonexistent legislation, case law, sources, events, or legal conclusions as if they were true, and expressly frames verification of AI outputs by counsel as a professional standard.[8] Although the Guide is advisory, it is a core source for this study because it reflects the current institutional approach to AI use in Turkish legal practice.

The best-known comparative example is Mata v. Avianca. The federal court in New York did not treat resort to a reliable AI tool as improper per se; instead, it located the basis for sanctions in counsel's abandonment of their responsibility for the accuracy of their filings, their submission of nonexistent cases and fabricated quotations, and their continued reliance on false material after the problem had come to light. [9] Ayinde/Al-Haroun in England and Wales, the KG Berlin decision in Germany, and guidance adopted in other jurisdictions frame the same question in different ways: even when the tool changes, who remains responsible for legal authority submitted to the court?

7 Matthew Dahl, Varun Magesh, Mirac Suzgun and Daniel E. Ho, 'Large Legal Fictions: Profiling Legal Hallucinations in Large Language Models', Journal of Legal Analysis, Vol. 16, No. 1 (2024), pp. 64-93; Varun Magesh et al., 'Hallucination-Free? Assessing the Reliability of Leading AI Legal Research Tools', Journal of Empirical Legal Studies, Vol. 22, No. 2 (2025), pp. 216-242. The rates reported in both studies are meaningful only for the systems, tasks, and dates tested; they should not be generalized to all current AI systems.

8 Union of Turkish Bar Associations (TBB), Avukatlar İçin Yapay Zekâ Kullanımı Tavsiye Rehberi [Advisory Guide on AI Use for Lawyers], 2026, pp. 9, 11-12. The Guide defines hallucination as the production of nonexistent legislation, case law, sources, events, or legal conclusions as if they were true and requires lawyers to verify AI outputs.

9 Mata v. Avianca, Inc., 678 F. Supp. 3d 443 (S.D.N.Y. 2023), especially the Opinion and Order on Sanctions dated 22 June 2023, pp. 1-2. The court emphasized that obtaining assistance from a reliable AI tool is not improper per se; the central problem was counsel's failure to discharge their responsibility for the accuracy of their filings.

Turkish scholarship now addresses the use of generative AI in legal practice, hallucination, and professional diligence. [10] Accordingly, this study does not claim originality for the proposition that 'AI can invent cases.' Its narrower question is this: when counsel submits to a court a judicial decision that does not exist, or a quotation that does not appear in an existing decision, how should that conduct be classified within the Turkish Code of Civil Procedure (HMK); how should the party's procedural duties be distinguished from counsel's personal professional responsibility; and at what thresholds may provisions such as Articles 327 and 329 of the HMK come into play? Moreover, now that the TBB expressly recommends verification, is any additional formal 'AI-use disclosure' or 'judicial-decision verification certificate' actually necessary? The study therefore reads technical risk alongside the established Turkish civil-procedure literature on good faith and truthfulness. Its contribution lies not in inventing a new ethical principle, but in systematizing the place and consequences within the HMK of an existing and newly concretized professional verification standard.

The study advances a three-stage thesis. First, it is not persuasive to place a false judicial-decision citation directly and without qualification within the duty of truthfulness concerning facts under Article 29(2) of the HMK. Second, the party's duty of good faith under Article 29(1) and the counsel's duties of care and accuracy under the Attorneyship Law should be read in conjunction, while holding the separateness of these two normative planes. Third, the response should focus on objectively verifiable features of the legal authority submitted to the court, rather than on a particular technology brand or disclosure of use of AI. Mandatory certification, however, may create unnecessary formalism where existing professional duties will suffice and should therefore be defended only on the basis of demonstrated need and a clear legal foundation.

2. RESEARCH AND FINDINGS

2.1. Method, Scope, and Research Question

This study uses a functional comparative method with a doctrinal approach. For Turkish law, it refers to Articles 29, 30, 33, 327 and 329 of the HMK, Article 34 of the Attorneyship Law and the disciplinary rules amended at the end of 2025, the TBB Guide in force directly addressing the issue and accessible Turkish scholarship. The comparative systems were chosen not to offer geographic diversity, but to test different regulatory techniques: U.S. Rule 11 adopts a reasonable-inquiry standard; Ontario an express certification of authenticity; New South Wales a specific verification standard for written submissions prepared with GenAI; New Zealand the continuation of existing professional duties; England and Wales caution on new AI-specific formalities; and Germany a concrete duty of counsel to check AI-assisted submissions in a continental European context.

The normative center of gravity is not the AI literature, but the body of civil-procedure scholarship on good faith and the duty of truthfulness. In Turkish doctrine, that discussion extends from Arslan's monographic treatment of good faith, to Tercan's analysis of the duty to tell the truth; from Özekes's discussion of costs and attorney-fee consequences of procedural bad faith, to Papakçı and Kurt Konca's work on truthfulness; and further to Akil's separate treatment of counsel's position and Demirel Mit's analysis of sanctions under the current HMK framework. Contemporary general works have also been used for the broader structure of the HMK and the principles governing proceedings.[11]

10 İnan Uluç, 'Generative Artificial Intelligence in Legal Practice: Use and Regulation', Ankara Barosu Dergisi, Vol. 83, No. 3 (2025), pp. 601-654; Neslihan Karataş Durmuş and Fatmanur Cebeci Çorum, 'Güncel Gelişmeler Işığında Hukuk Alanında Yapay Zekâ Kullanımının Değerlendirilmesi', Adalet Dergisi, No. 76 (2026), pp. 41-66.

11 Ramazan Arslan, Medeni Usul Hukukunda Dürüstlük Kuralı, Ankara, Sevinç Matbaası, 1989; Erdal Tercan, 'Medeni Usul Hukukunda Gerçeği Söyleme Yükümlülüğü', Selçuk Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, Vol. 5,

The study excludes related but distinct issues such as AI-generated evidence, deepfakes, AI use by experts or judges, personal data, and professional secrecy. It focuses exclusively on accuracy and verification when judicial decisions are submitted to a court as legal authority. Technical studies do not supply the normative conclusion; they serve only as supporting evidence that the problem is real and capable of recurring.

The research gap should be stated cautiously. Turkish scholarship does consider AI hallucination, professional ethics, and foreign examples, but the author is not aware of any study that systematically analyzes false judicial-decision citations collectively, through the Article 29(1)/29(2) distinction, the party-counsel distinction, the consequences under Articles 327 and 329, and the debate over technology-neutral certification. This formulation does not claim that the literature search was complete or exhaustive.

2.2. Conceptual Framework: False Judicial-Decision Citations and Other Citation Errors

Although the expression 'fabricated case law' is striking in ordinary usage, it is problematic for academic analysis for two reasons. First, 'case law' is not identical to a single judicial decision. Second, 'fabricated' often connotes deliberate falsification, whereas a generative-AI hallucination may enter a filing even when counsel does not know that the decision does not exist. The study therefore uses 'false citation to a judicial decision' as its overarching term.

Two situations form the core of the concept. In the first, a decision that never existed is presented as genuine authority together with a court name, date, or number. In the second, a real decision exists, but a statement not contained in the decision is attributed to it as though it were a direct quotation. In both cases, the problem concerns the authenticity of the attributed authority or quotation before it concerns the soundness of legal interpretation. The TBB Guide's definition of 'hallucination' likewise places the generation of nonexistent case law and sources as if they were genuine within this risk category. [12]

Three other error types should, however, be kept separate. First is a clerical or citation-detail error in the chamber, date, or case/decision number of a real judgment. Second is a situation in which the decision is real and accurately cited but does not, in context, support the legal proposition for which it is invoked. Third is reliance on a decision that has lost significance due to later case law or lacks sufficient factual similarity to the dispute. These latter errors concern the quality of legal research and evaluation more than authenticity. Magesh et al. underscore the relevance of this distinction in technical research by separating factual correctness from source fidelity or groundedness. [13] The 2026 preprint by Liu et al. similarly shows that nonexistent sources, misquotations, and subtler content mismatches constitute different classes of citation error. [14]

Nos. 1-2 (1996), pp. 181-212; Muhammet Özekes, 'Yargılamada Dürüstlük Kuralına Aykırı Davranan Taraf Aleyhine Hükmedilecek Vekâlet Ücreti', Legal Medenî Usûl ve İcra-İflâs Hukuku Dergisi, 2005/1, pp. 29-49; Acun Papakçı, 'Dürüst Davranma ve Doğruyu Söyleme Yükümlülüğü', Bahçeşehir Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, Nos. 137-138 (2016), pp. 103-123; Nesibe Kurt Konca, Medenî Usûl Hukukunda Tarafların Doğruyu Söyleme Yükümlülüğü, Ankara, Yetkin Yayınları, 2017; see also Hakan Pekcanıtez, Oğuz Atalay and Muhammet Özekes, Medenî Usûl Hukuku - Temel Bilgiler, 18th ed., İstanbul, On İki Levha Yayıncılık, 2024; Süha Tanrıver, Medenî Usûl Hukuku Cilt I - Temel Kavramlar ve İlk Derece Yargılaması, 6th ed., Ankara, Yetkin Yayınları, 2024.

12 Union of Turkish Bar Associations (TBB), Avukatlar İçin Yapay Zekâ Kullanımı Tavsiye Rehberi [Advisory Guide on AI Use for Lawyers], 2026, pp. 9, 11-12. The Guide defines hallucination as the production of nonexistent legislation, case law, sources, events, or legal conclusions as if they were true and requires lawyers to verify AI outputs.

13 Matthew Dahl, Varun Magesh, Mirac Suzgun and Daniel E. Ho, 'Large Legal Fictions: Profiling Legal Hallucinations in Large Language Models', Journal of Legal Analysis, Vol. 16, No. 1 (2024), pp. 64-93; Varun Magesh et al., 'Hallucination-Free? Assessing the Reliability of Leading AI Legal Research Tools', Journal of Empirical Legal Studies, Vol. 22, No. 2 (2025), pp. 216-242. The rates reported in both studies are meaningful only for the systems, tasks, and dates tested; they should not be generalized to all current AI systems.

14 Patty Liu, Dominik Stammbach and Peter Henderson, 'Who Checks the Citations? Benchmarking Legal Hallucination

This distinction is indispensable for sanctions. A one-digit citation error is not the same conduct as knowingly submitting a decision that does not exist. Nor is a lawyer who reads the real decision in a reliable database and then advocates a debatable interpretation guilty of the same lack of care as one who pastes an AI output into a filing without consulting any independent source. The analysis therefore treats 'type of error' and 'degree of fault' as separate axes.

2.3. Legal Significance of the Technical Risk: Why Verification Is Necessary

AI hallucination is not merely a software defect for lawyers. Legal argument depends on authority being traceable and reviewable. If a case name or quotation is not genuine, the opposing party and the court must spend time determining whether the source exists before they can address the legal argument itself. The legal significance of the risk therefore lies less in a model's error rate than in the possibility that the error creates the appearance of false authority in judicial communication.

Dahl et al. (2024) found that legal hallucinations could occur systematically in the publicly available models they tested; Magesh et al. (2025) showed that errors and faulty source associations had not been entirely eliminated even in certain commercial research tools supported by legal databases. [15] It would be scientifically unsound to infer from those studies a fixed error rate for all systems in use today. Their value is that they undermine the assumption that legal research can safely be treated as 'hallucination-free' and free from the need for human review.

The TBB Guide connects this technical risk directly to a professional control standard. It calls for independent-source checking of case/decision numbers, dates, chambers/boards, outcomes, and factual similarity when verifying case law, and states that legislation, case law, citations, or material facts obtained from AI should not be submitted to a judicial authority without confirmation from official and reliable sources. [16] Consequently, verification in Turkish practice is no longer an expectation borrowed from foreign ethics guidance but explicitly articulated in the TBB's new, albeit advisory, professional framework, as of 1 September 2026. Verification is increasingly not only a final check in a particular file but also part of professional competence. Kurt Konca's 2026 study on legal education likewise indicates that, in the AI era, the ability to critically assess and verify outputs should be treated as part of the contemporary requirements of legal education.[17]

2.4. Normative Classification Under Article 29 HMK: Truthfulness or Good Faith?

Article 29 of the HMK regulates two distinct duties in the same provision: the parties must act in accordance with good faith, and they must make truthful statements concerning the facts on which the action is based. [18] Whether a false citation to a judicial decision falls directly within the second paragraph depends on how the object of the 'duty of truthfulness' is defined.

Although Cenk Akil argues that lawyers are also bound by the duty of truthfulness, he relates

---

Detection', arXiv:2606.21155 (2026). As of 1 September 2026, the study is a preprint rather than a peer-reviewed journal article; it is used here only as supporting empirical evidence concerning classification and the difficulty of verification.

15 Matthew Dahl, Varun Magesh, Mirac Suzgun and Daniel E. Ho, 'Large Legal Fictions: Profiling Legal Hallucinations in Large Language Models', Journal of Legal Analysis, Vol. 16, No. 1 (2024), pp. 64-93; Varun Magesh et al., 'Hallucination-Free? Assessing the Reliability of Leading AI Legal Research Tools', Journal of Empirical Legal Studies, Vol. 22, No. 2 (2025), pp. 216-242. The rates reported in both studies are meaningful only for the systems, tasks, and dates tested; they should not be generalized to all current AI systems.

16 TBB, Avukatlar İçin Yapay Zekâ Kullanımı Tavsiye Rehberi [Advisory Guide on AI Use for Lawyers], 2026, pp. 24-26. For case-law verification, the Guide calls for independent-source checking of case/decision numbers, dates, chambers/boards, outcomes, and factual similarity, and for legislation, case law, citations, or facts submitted to a court to be confirmed through official and reliable sources. The Guide is advisory (p. 41).

17 Nesibe Kurt Konca, 'Türk Hukuk Eğitiminin Yapay Zekâ Çağının Gereklerine Uygun Olarak Reformu', Türkiye Adalet Akademisi Dergisi, No. 66 (2026), pp. 281-324, DOI: 10.54049/taad.1847659.

18 Turkish Code of Civil Procedure No. 6100 (HMK), Arts. 29, 30 and 33.

the subject matter of that duty to factual allegations and evidence, while excluding the parties' legal assessments from its scope. [19] On that view, a statement such as 'the Court of Cassation adopted this position in the following decision' does not belong to the same category as an allegation concerning when the contract was concluded or whether payment was made.

Doctrine is not entirely uniform, however. Demirel Mit reports differing views both on the application of Article 29 HMK to counsel and on the scope of the duty of truthfulness; the same study refers, as a secondary source, to Kurt Konca's distinction between narrow and broad conceptions of that duty. [20] The conclusion of this paper is therefore not the categorical proposition that 'Article 29(2) can never apply.' Its narrower claim is that presenting a nonexistent judicial decision as legal authority does not naturally fit the textual core of Article 29(2)—'statements concerning the facts on which the action is based'—and that, particularly under the narrower conception, Article 29(1)'s duty of good faith provides the more appropriate normative basis.

This conclusion does not render Article 29(2) irrelevant. If a false judicial-decision citation is accompanied by fabricated material facts, or if AI generates a false account of the factual events of the case under the guise of a citation, Article 29(2) may separately come into play. The citation's character as legal authority must therefore be distinguished from a statement of material fact.

The same caution is required with respect to counsel. Akil argues that the duty also extends to lawyers, whereas Demirel Mit clearly presents the doctrinal debate. [21], [22] It is therefore safer not to ground counsel's personal professional responsibility exclusively in Article 29 HMK, but to separate the party's procedural conduct from counsel's independent duties under the Attorneyship Law.

2.5. Legal Basis of Counsel's Duty of Verification

Article 34 of the Attorneyship Law establishes the basic professional standard that a lawyer must perform professional duties with care, accuracy, and honor. Following the amendment adopted by Law No. 7571 on 24 December 2025 and published in the Official Gazette on 25 December 2025, Article 134 expressly connected conduct inconsistent with duties of care and accuracy to the general disciplinary framework. [23] These provisions do not create a freestanding statutory rule literally called a 'duty to verify judicial decisions'; they do, however, provide the statutory core for requiring a lawyer to carry out at least a minimum check of legal authority submitted to the court as the lawyer's own professional representation.

The TBB Advisory Guide of 28 August 2026 concretizes this general statutory standard within

19 Cenk Akil, 'Avukatların Gerçeği Söyleme Yükümlülüğü', Türkiye Adalet Akademisi Dergisi, No. 35 (2018), pp. 41-56, especially p. 43. Akil relates the subject matter of the duty of truthfulness to factual allegations and evidence, while excluding legal assessments from its scope.

20 Ceren Demirel Mit, 'Dürüst Davranma ve Doğruyu Söyleme Yükümlülüğü ile Bu Yükümlülüklere Aykırılığın Yaptırımı', Başkent Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, Vol. 11, No. 2 (2025), pp. 337-380, especially pp. 352-353. The author reports differing doctrinal approaches regarding the application of Article 29 HMK to counsel and the scope of the duty of truthfulness. The same work cites Kurt Konca's distinction between narrow and broad conceptions secondarily; this paper does not attribute that view to Kurt Konca as though the original source had been directly consulted for that proposition.

21 Cenk Akil, 'Avukatların Gerçeği Söyleme Yükümlülüğü', Türkiye Adalet Akademisi Dergisi, No. 35 (2018), pp. 41-56, especially p. 43. Akil relates the subject matter of the duty of truthfulness to factual allegations and evidence, while excluding legal assessments from its scope.

22 Ceren Demirel Mit, 'Dürüst Davranma ve Doğruyu Söyleme Yükümlülüğü ile Bu Yükümlülüklere Aykırılığın Yaptırımı', Başkent Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, Vol. 11, No. 2 (2025), pp. 337-380, especially pp. 352-353. The author reports differing doctrinal approaches regarding the application of Article 29 HMK to counsel and the scope of the duty of truthfulness. The same work cites Kurt Konca's distinction between narrow and broad conceptions secondarily; this paper does not attribute that view to Kurt Konca as though the original source had been directly consulted for that proposition.

23 Attorneyship Law No. 1136, Art. 34; Law No. 7571 Amending the Turkish Penal Code, Certain Laws and Decree-Law No. 631, Art. 5 et seq., adopted 24 December 2025, Official Gazette 25 December 2025, No. 33118. Following Law No. 7571, Article 134 places conduct inconsistent with duties of care and accuracy within the general disciplinary framework.

the framework of AI. It builds in verification as a central pillar, demanding that legislation and case law in AI outputs be authenticated through official and reliable sources, and acknowledges that the failure to authenticate AI-generated case law or citations submitted to a court may, depending on the circumstances, constitute a serious breach of professional diligence. [24], [25] At the same time, page 41 expressly states that the Guide is advisory. It is therefore not a disciplinary norm that replaces a statute, but a soft-law professional benchmark showing how the duties of care and accuracy of the Attorneyship Law may be concretized in the current technological environment.

The verification standard can be structured in three concentric layers. The first is authenticity: does the cited decision actually exist? The second is identity and quotation accuracy: do the court/chamber, date, case and decision numbers, and quoted language correspond to the decision itself? The third is legal use: is the decision sufficiently connected to the facts of the case, and does it support the asserted legal proposition in context? The first two layers are largely susceptible to objective verification. The third requires legal interpretation, assessment of precedential weight, and context and should therefore remain a matter of professional judgment rather than formal certification.

This distinction is also consistent with the new TBB Guide. In case-law verification, the Guide places not only case/decision numbers and dates but also the outcome and factual similarity within counsel's field of review. [26] Yet if a regulator were later to require a signed certificate, compelling a subjective and contestable declaration that 'this decision definitely supports my legal proposition' would blur the boundary between legal argument and verification. The professional verification standard may thus be broad. The subject matter of any formal certification should be narrower.

Comparative professional ethics indicates the same trend. ABA Formal Opinion 512 stresses that competence, candor to the tribunal and other existing ethical duties remain applicable when GenAI is used. The opinion is ethics guidance under the Model Rules, not binding federal law. [27] What they have in common is that no one of these sources makes the AI responsible as if it were a separate legal actor.

Other professional bodies appear to adopt a similar approach. Florida Bar Ethics Opinion 24-1, which is explicitly nonbinding, requires lawyers to check the accuracy and adequacy of research performed with GenAI and to retain ultimate responsibility for the work product. The Bar Council of England and Wales likewise does not prohibit generative-AI use as such; it stresses that professional judgment must not be replaced and that generated legal material must be checked.[28]

---

24 TBB, Avukatlar İçin Yapay Zekâ Kullanımı Tavsiye Rehberi [Advisory Guide on AI Use for Lawyers], 2026, pp. 24-26. For case-law verification, the Guide calls for independent-source checking of case/decision numbers, dates, chambers/boards, outcomes, and factual similarity, and for legislation, case law, citations, or facts submitted to a court to be confirmed through official and reliable sources. The Guide is advisory (p. 41).

25 TBB, Avukatlar İçin Yapay Zekâ Kullanımı Tavsiye Rehberi [Advisory Guide on AI Use for Lawyers], 2026, p. 26. The Guide states that fabricated (hallucinated) case law or citations may, depending on the circumstances, constitute a serious breach of professional diligence and that, if the error is discovered later, prompt correction and notification should be considered.

26 TBB, Avukatlar İçin Yapay Zekâ Kullanımı Tavsiye Rehberi [Advisory Guide on AI Use for Lawyers], 2026, pp. 24-26. For case-law verification, the Guide calls for independent-source checking of case/decision numbers, dates, chambers/boards, outcomes, and factual similarity, and for legislation, case law, citations, or facts submitted to a court to be confirmed through official and reliable sources. The Guide is advisory (p. 41).

27 American Bar Association Standing Committee on Ethics and Professional Responsibility, Formal Opinion 512: Generative Artificial Intelligence Tools, 29 July 2024. The opinion is not a binding federal procedural rule; it provides ethical guidance under the Model Rules.

28 The Florida Bar, Ethics Opinion 24-1, 19 January 2024. The opinion is nonbinding; it states that counsel must check the accuracy and sufficiency of research conducted with GenAI and remain responsible for the final work

At the European level, the CCBE's 2025 Guide on GenAI and its 2026 Technical Guide emphasize the continuity of professional duties despite rapid technological change and the need for lawyers to have sufficient technical competence to understand the limitations of the tools they use. The 2024 AI guidance from the German Federal Bar also includes the lawyer's independent review and final control of AI output as part of the professional duty.[29]

Academic scholarship on legal ethics supports the same distinction: generative AI may increase the speed and accessibility of legal services, but it does not displace duties of competence, confidentiality, human oversight, and candor toward the court. The focus of assessment should therefore be counsel's supervisory conduct and responsibility for the final work product rather than the technical tool itself.[30]

2.6. Articles 30 and 33 HMK: Procedural Economy and the Court's Ex Officio Application of Law

Under Article 33 HMK, the court applies Turkish law ex officio. [31] This means that the court is not bound by the parties' legal characterization or by the judicial decisions they cite. A false judicial-decision citation therefore does not create a legally binding norm merely because it appears in a pleading. This point matters in avoiding the assimilation of the role of precedent in foreign systems to Turkish law.

Yet the court's ex officio application of law does not make the submission of false authority by a party or counsel insignificant. The court may have to investigate whether the cited decision exists, and the opposing party may have to spend time responding to an authority that is not real. In Mata, the court expressly observed that fabricated decisions could waste the opposing party's time and money, divert judicial resources from other matters, and undermine confidence in the judicial system. [32]

The principle of procedural economy in Article 30 HMK is explanatory in this respect: proceedings should be conducted within a reasonable time, in an orderly manner, and without unnecessary expense. [33] Article 30, however, is not an independent sanction provision directly imposing professional discipline on counsel. This study uses Article 30 as a systemic reason for verification, not as the legal source of a sanction.

2.7. Graduating the Procedural Consequences

The consequence attached to a false or erroneous judicial citation cannot turn solely on the fact that 'AI was used.' There should be at least four situations distinguished. In the first the correct decision is clearly identifiable but a single digit or the date is mis-stated. Such a clerical error should be corrected in the first place, absent misleading purpose or gross negligence. In the

product and professional judgment. See also Bar Council of England and Wales, Considerations when using ChatGPT and generative artificial intelligence software based on large language models, issued 30 January 2024, last reviewed 25 November 2025.

[29] Council of Bars and Law Societies of Europe (CCBE), Guide on the Use of Generative AI for Lawyers, 2 October 2025; CCBE, Technical Guide on the Use of AI Tools and Models by Lawyers, 27 March 2026; Bundesrechtsanwaltskammer, Hinweise zum Einsatz von künstlicher Intelligenz (KI), as of December 2024, especially the section 'Eigenverantwortliche Überprüfung und Endkontrolle von KI-Output'.

[30] alliopi Terzidou, 'Generative AI Systems in Legal Practice Offering Quality Legal Services While Upholding Legal Ethics', International Journal of Law in Context, Vol. 21, No. 3 (2025), pp. 431-452, DOI: 10.1017/S1744552325000047; John G. Browning, 'Robot Lawyers Don't Have Disciplinary Hearings—Real Lawyers Do: The Ethical Risks and Responses in Using Generative Artificial Intelligence', Georgia State University Law Review, Vol. 40, No. 4 (2024), p. 917 et seq.

31 Turkish Code of Civil Procedure No. 6100 (HMK), Arts. 29, 30 and 33.

32 Mata v. Avianca, Inc., 678 F. Supp. 3d 443 (S.D.N.Y. 2023), especially the Opinion and Order on Sanctions dated 22 June 2023, pp. 1-2. The court emphasized that obtaining assistance from a reliable AI tool is not improper per se; the central problem was counsel's failure to discharge their responsibility for the accuracy of their filings.

33 Turkish Code of Civil Procedure No. 6100 (HMK), Arts. 29, 30 and 33.

second, an AI output is pasted into a pleading without opening the decision or checking against an independent reliable source. There may be no intent, but once the TBB Guide explicitly requires verification, a professional-diligence review may justifiably be more stringent. [34] Third, there is reliance after the court or opposing party has said the decision cannot be found, or an apparent 'check' is claimed even if the source was never opened. The fourth is where counsel knowingly treats as real a decision which in fact does not exist or knowingly attributes to a real case a quotation which has been fabricated.

The TBB Guide's view on sanctions also supports this graduated approach. In the Guide, the mere use of AI should not itself be the basis for discipline; rather, assessment should focus on the specific breach, harm, fault, and deficiency in professional diligence. [35] The formula used for AI=committed a disciplinary offense is therefore neither technology-neutral nor consistent with TBB's current approach.

A more concrete criterion is provided by Article 327 HMK. It enables a party to be directed to pay certain costs of litigation where that party has unnecessarily prolonged proceedings or expenses, even if the judgment is otherwise in favor of that party. [36] If the false citation results in the opposing party having to do more research or submission, the court asking for clarification, or the repetition of procedural steps, Article 327 may be relevant. However, an erroneous citation alone is not enough; a concrete causal link to unnecessary delay or expense must be established. The provision is party-centered as well. The professional fault of the lawyer and the liability for costs of the party under Article 327 are not of the same legal category; the consequences in the internal lawyer-client relationship are outside the scope of this paper.

Article 329 HMK requires even greater caution. It provides special consequences for a defendant acting in bad faith or for a party bringing an action despite having no right to do so; the second paragraph states that, where counsel has caused such circumstances, the disciplinary fine is imposed on counsel. [37] The reference to 'such circumstances' is important: not every unverified AI citation automatically triggers Article 329(2). The case or defense must independently fall within the bad-faith or groundless-litigation context described by the provision.

This high threshold is also illustrated by a Court of Cassation decision reported by Demirel Mit. In a case in which an action was inadvertently filed a second time through UYAP, the lower court imposed a bad-faith sanction on the basis of counsel's lack of care and attention; the Court of Cassation adopted a reversal approach because there was no concrete indication of bad faith and counsel had attempted to remedy the error. [38] The decision does not concern AI citations and is used here only by analogy to show the general distinction that negligence and bad faith are not the same.

The professional-disciplinary dimension should be assessed separately from procedural sanctions under the HMK. The post-Law No. 7571 structure of Articles 134 and 135 of the

34 TBB, Avukatlar İçin Yapay Zekâ Kullanımı Tavsiye Rehberi [Advisory Guide on AI Use for Lawyers], 2026, pp. 24-26. For case-law verification, the Guide calls for independent-source checking of case/decision numbers, dates, chambers/boards, outcomes, and factual similarity, and for legislation, case law, citations, or facts submitted to a court to be confirmed through official and reliable sources. The Guide is advisory (p. 41).

35 TBB, Avukatlar İçin Yapay Zekâ Kullanımı Tavsiye Rehberi [Advisory Guide on AI Use for Lawyers], 2026, p. 32. The Guide states that AI use alone should not be treated as a ground for disciplinary sanctions; the assessment should instead focus on the specific breach, harm, fault, data-security violation, or deficiency in professional diligence.

36 Turkish Code of Civil Procedure No. 6100 (HMK), Arts. 327 and 329.

37 Turkish Code of Civil Procedure No. 6100 (HMK), Arts. 327 and 329.

38 Demirel Mit, cited above, pp. 370-371. The author reports Court of Cassation 7th Civil Chamber, E. 2015/31804, K. 2015/17391, 1 October 2015, in which, in the context of an action inadvertently filed twice through UYAP, the Court adopted a reversal approach indicating that mere lack of care and attention was insufficient to establish bad faith.

Attorneyship Law ties disciplinary assessment to the nature and seriousness of the conduct. [39] The TBB Guide likewise states that submitting a fabricated citation may, only 'depending on the circumstances of the case,' amount to a serious breach of professional diligence. [40] This paper therefore does not propose an abstract and automatic disciplinary penalty for any particular type of false citation.

German practice offers two different levels that illustrate the need for proportionality. In its decision of 2 July 2025, the Amtsgericht Köln examined in detail numerous sources and legal propositions in a submission that appeared to have been AI-generated and did not exist, and noted that deliberately making false statements about legislation and case content could raise issues under the German professional-law Sachlichkeitsgebot. Christian Denz uses this and similar examples to argue that the fact that an AI makes an error does not automatically mean that there has been a breach of professional duties or that liability has arisen; the number and seriousness of errors, their impact on the legal argument and the conduct of counsel during the review process must be assessed jointly. [41]

2.8. Functional Models in Comparative Law

Comparative systems do not give a uniform answer to the same problem. That variation is good for functional comparison, but not good for the direct transplantation of a foreign rule into Turkish law. The relevant criteria are: the legal source of the verification duty; on whom it rests; what must be verified; whether AI use must separately be disclosed; and how noncompliance is treated.

In the United States, Federal Rule 11 is a technology-neutral model created long before generative AI. By presenting to the court a pleading, written motion, or other paper, an attorney or unrepresented party certifies that, after an inquiry reasonable under the circumstances, the representations satisfy the foundations required by Rule 11(b). [42] Mata demonstrates that this general rule can operate in the context of AI-generated fabricated authorities. The court centered sanctions not on the use of the technology, but on the submission of unverified fictitious cases and continued reliance on false material after the problem became apparent. [43]

In England and Wales, Ayinde/Al-Haroun uses more explicit language of professional checking. The Divisional Court stated that, where GenAI is used for legal research, the output must be checked against authoritative sources, and that this responsibility applies both to a lawyer who personally uses AI and to one who relies on AI-assisted research conducted by someone else. [44] By contrast, the Civil Justice Council's consultation update of 30 June 2026

39 Attorneyship Law No. 1136, Art. 34; Law No. 7571 Amending the Turkish Penal Code, Certain Laws and Decree-Law No. 631, Art. 5 et seq., adopted 24 December 2025, Official Gazette 25 December 2025, No. 33118. Following Law No. 7571, Article 134 places conduct inconsistent with duties of care and accuracy within the general disciplinary framework.

40 TBB, Avukatlar İçin Yapay Zekâ Kullanımı Tavsiye Rehberi [Advisory Guide on AI Use for Lawyers], 2026, p. 26. The Guide states that fabricated (hallucinated) case law or citations may, depending on the circumstances, constitute a serious breach of professional diligence and that, if the error is discovered later, prompt correction and notification should be considered.

41 Amtsgericht Köln, Beschluss vom 02.07.2025 - 312 F 130/25, ECLI:DE:AGK:2025:0702.312F130.25.00, especially the findings concerning nonexistent sources and the reference to § 43a Abs. 3 BRAO; Christian Denz, 'Berufs- und haftungsrechtliche Folgen von halluzinierten KI-Ergebnissen - Auf das (Aus)Maß kommt es an', BRAK-Mitteilungen, 5/2025, pp. 316-322. Denz emphasizes that the assessment should turn not on the mere existence of an AI error but on the scope and effect of the errors and counsel's review conduct.

42 Federal Rules of Civil Procedure, Rule 11(b). By presenting a document to the court, an attorney or unrepresented party certifies that, after an inquiry reasonable under the circumstances, the legal and factual representations have the foundation required by the Rule.

43 Mata v. Avianca, Inc., 678 F. Supp. 3d 443 (S.D.N.Y. 2023), especially the Opinion and Order on Sanctions dated 22 June 2023, pp. 1-2. The court emphasized that obtaining assistance from a reliable AI tool is not improper per se; the central problem was counsel's failure to discharge their responsibility for the accuracy of their filings.

44 R (Ayinde) v London Borough of Haringey; Al-Haroun v Qatar National Bank QPSC, [2025] EWHC 1383 (Admin), [3],

reported a strong consensus that additional AI-specific formal requirements were not, at that stage, necessary for pleadings and advocacy documents prepared by professionals. [45] This provides the strongest counterargument to assuming that a new certification requirement would necessarily be beneficial.

Ontario provides a highly current example pointing in the opposite direction. O. Reg. 275/26, which entered into force on 1 September 2026, requires the signatory of a factum to certify being satisfied that every cited authority is authentic and every direct quotation accurately reproduces the text of that authority. [46] Notably, the rule does not ask whether AI was used. The 2026 amendment also confines certification to two objective matters: the authenticity of the authority and the accuracy of direct quotations. For a Turkish model, this suggests that any formal certificate should target objectively verifiable features rather than the interpretive relevance of the authority.

New South Wales Practice Note SC Gen 23 requires, for certain written submissions, summaries, and skeleton arguments prepared with GenAI, verification of the existence, accuracy, and relevance of cited legal and academic authorities, case law, and statutory references. Verification solely through another GenAI tool is insufficient. [47] The model defines formal checking more broadly than Ontario, but its application only to certain GenAI uses reflects a different choice on technology neutrality.

The New Zealand guidelines emphasize that existing professional duties continue to apply to new technology and that the accuracy of information submitted to the court, including legal citations, must be checked. [48] In Germany, the KG Berlin decision of 20 November 2025 likewise indicates that, in pleadings prepared with AI assistance, counsel must check in particular whether cited authorities are products of a 'fantasierende KI' (hallucinating AI). [49] Together, these examples show that the idea of verification is not confined to the Rule 11 tradition.

Table 1. Functional Comparison of Verification Models in Comparative Law

[6]-[8]. The Divisional Court stated that a lawyer who conducts legal research with GenAI, or relies on such research, must check the result against authoritative sources.

45 Civil Justice Council, 'The Use of AI for the Preparation of Court Documents - Update on Consultation Findings', 30 June 2026. The CJC reported a strong consensus that additional AI-specific formal requirements were not, at that stage, necessary for legal professionals preparing pleadings, advocacy documents, and skeleton arguments, and that existing professional-responsibility frameworks were regarded as sufficient. The document is not a final procedural rule.

46 Ontario Regulation 275/26, Rules of Civil Procedure, r. 4.06.1(2.1), published 12 August 2026, effective 1 September 2026. The rule requires the signatory of a factum to certify being satisfied that every cited authority is authentic and every direct quotation accurately reproduces the text of that authority.

47 Supreme Court of New South Wales, Practice Note SC Gen 23 - Use of Generative Artificial Intelligence, amended 28 January 2025, paras. 16-18. For written submissions, summaries, and skeleton arguments prepared with GenAI, the existence, accuracy, and relevance of cited legal and academic authorities, case law, and statutory references must be verified; verification must not be carried out solely by using a GenAI tool.

48 Courts of New Zealand, Guidelines for Use of Generative Artificial Intelligence in Courts and Tribunals: Lawyers, 7 December 2023. The Guidelines emphasize that existing professional duties continue when GenAI is used and that the accuracy of information to be submitted to the court, including legal citations, must be checked.

49 Kammergericht Berlin, Beschluss vom 20.11.2025 - 17 WF 144/25; see also Bundesrechtsanwaltskammer, 'KI-Halluzination: KG ermahnt Anwältin wegen erfundener Urteile im Schriftsatz', 8 June 2026. As reported by BRAK, the decision's central statement is that AI-assisted pleadings must be checked, particularly to determine whether cited case law is the product of a 'fantasierende KI' (hallucinating AI).

System	Source / status	Verification focus	AI disclosure	Lesson for Turkish law
United States	FRCP Rule 11; Mata	Reasonable inquiry; basis and accuracy of court filings	No general AI disclosure	Existing technology-neutral duties can address AI-related errors.
England and Wales	Ayinde; CJC 2026 consultation update	Checking against authoritative sources; professional responsibility	CJC currently sees no need for new AI-specific formalities for professional court documents	The need for any new certification should be demonstrated rather than assumed.
Ontario	O. Reg. 275/26; effective 1 Sept. 2026	Authenticity of each authority and accuracy of direct quotations	Not tied to AI use	If formal certification is introduced, it can be objective and technology-neutral.
New South Wales	Practice Note SC Gen 23	Existence, accuracy, and relevance; human verification	Special standard for specified GenAI-assisted documents	Verification solely by another GenAI tool should not suffice.
New Zealand	2023 Lawyers Guidelines	Existing professional duties; accuracy of legal citations	No general automatic disclosure requirement	New technology does not displace existing responsibility.
Germany	KG Berlin, 17 WF 144/25	Counsel's checking of case citations in AI-assisted pleadings	No special AI disclosure	Supports a professional-control approach in a continental European setting.

2.9. Proposal for Turkish Law: A Judicial-Citation Verification Standard

Following publication of the TBB Guide on 28 August 2026, the starting point for any proposal under Turkish law has changed. It is no longer meaningful simply to propose the general ethical proposition that 'lawyers should verify AI outputs'; the TBB has already said so expressly. [50] The remaining question is how that professional standard should be made visible and proportionate in procedural practice.

The proposed 'Judicial-Citation Verification Standard' should therefore be conceived in two layers. The first is a professional/technical layer that can operate under existing law without creating a new condition of action or formal element of a pleading. UYAP could, for professional submissions containing legal-authority citations, provide a short non-blocking reminder or checklist: users could be reminded to open the decision in an official or reliable source, check its identifying details, and, where a direct quotation is used, compare it with the source text. Leaving such a box unchecked should not prevent filing or lead to rejection. The aim is not to create a new sanction, but to make visible within the workflow the professional standard already embodied in the Attorneyship Law and the TBB Guide.

The second layer is the possible introduction of a mandatory signed certificate. No immediate mandate should be presumed. The CJC's 2026 consultation outcome is a serious counterexample suggesting that professional-responsibility frameworks may be sufficient for court documents involving AI. [51] Ontario, by contrast, made a different choice in the field of

50 TBB, Avukatlar İçin Yapay Zekâ Kullanımı Tavsiye Rehberi [Advisory Guide on AI Use for Lawyers], 2026, pp. 24-26. For case-law verification, the Guide calls for independent-source checking of case/decision numbers, dates, chambers/boards, outcomes, and factual similarity, and for legislation, case law, citations, or facts submitted to a court to be confirmed through official and reliable sources. The Guide is advisory (p. 41).

51 Civil Justice Council, 'The Use of AI for the Preparation of Court Documents - Update on Consultation Findings', 30 June

objective verification through a technology-neutral certificate effective from 1 September 2026. [52] In Turkish law, mandatory certification could be defended only if two conditions are met: empirical evidence that false citations remain a meaningful and recurring problem despite existing professional standards, and an adequate legal basis clearly regulating the procedural consequence of the certificate.

If mandatory certification were later adopted, its scope should remain narrow. A possible text would be: 'The existence and identifying particulars of the judicial decisions cited as legal authority in this submission have been checked against a reliable source, and direct quotations have been compared with the text of the decision.' The certificate should not require an interpretive declaration such as 'every cited decision definitively supports the legal proposition advanced.' The decision's applicability to the case, precedential weight, and legal meaning belong to counsel's professional judgment and should not be transformed into matters of objective identity certification.

UYAP's possible technical role should likewise be designed narrowly. If the necessary legal and technical integration with reliable official judicial databases is achieved in the future, the system could warn the user whether an entered decision identifier corresponds to an existing record. This paper does not claim that such integration would be technically simple or inexpensive. Data standards, access permissions, anonymization of judgments, system load, and information security require separate technical study. UYAP should not become a system that automatically declares the legal meaning of a judgment or its precedential value for a particular dispute to be 'correct.'

2.10. Counterarguments, Limits, and Proportionality

The first objection is duplication, which is unnecessary. According to the Attorneyship Law, Article 34, lawyers are already required to act with due care and the TBB Guide recommends verification. So a new reminder from UYAP could also become formalism. The objection is a grave one. Therefore, the first layer is deliberately advisory and non-blocking; mandatory certification is not the default solution, but a second-stage option only if there is an empirical need.

Another objection is that of equal access. Not every lawyer has the same commercial legal databases available. A verification standard that effectively requires a costly private subscription could lead to professional inequality. The answer is not to equate the ‘reliable source’ with any one commercial product, but to enhance the official, searchable and sustainable access to judicial decisions. The TBB Guide also highlights secure and equal access to UYAP, court decisions, and legal data sources. [53]

The third is the over-deterrence problem. It might deter lawyers from citing precedent or using new research tools if every mistaken case number were treated as a disciplinary issue. A graduated error-fault-effect framework can prevent that outcome. Such a balance is also supported by TBB Guide’s position that the use of AI alone shall not be deemed as a disciplinary ground. [54]

2026. The CJC reported a strong consensus that additional AI-specific formal requirements were not, at that stage, necessary for legal professionals preparing pleadings, advocacy documents, and skeleton arguments, and that existing professional-responsibility frameworks were regarded as sufficient. The document is not a final procedural rule.

52 Ontario Regulation 275/26, Rules of Civil Procedure, r. 4.06.1(2.1), published 12 August 2026, effective 1 September 2026. The rule requires the signatory of a factum to certify being satisfied that every cited authority is authentic and every direct quotation accurately reproduces the text of that authority.

53 TBB, Avukatlar İçin Yapay Zekâ Kullanımı Tavsiye Rehberi [Advisory Guide on AI Use for Lawyers], 2026, pp. 24-26. For case-law verification, the Guide calls for independent-source checking of case/decision numbers, dates, chambers/boards, outcomes, and factual similarity, and for legislation, case law, citations, or facts submitted to a court to be confirmed through official and reliable sources. The Guide is advisory (p. 41).

54 TBB, Avukatlar İçin Yapay Zekâ Kullanımı Tavsiye Rehberi [Advisory Guide on AI Use for Lawyers], 2026, p. 32. The

The fourth limit is the need to avoid conflating verification with legal judgment. Authenticity and direct-quotation accuracy are largely verifiable factual properties; the persuasiveness of a decision in a particular dispute is a legal assessment. Ontario's 2026 rule is especially instructive because it limits certification to authentic authority and accurate quotation. [55] Any formal certification in Turkish law should likewise remain confined to objectively verifiable features.

3. CONCLUSION

False citations to judicial decisions generated through generative AI are not a passing curiosity of technology law, but a problem of the reliability of legal authority in civil proceedings. The response should therefore focus not on the name of the model used or on AI use as such, but on verification of the legal source submitted to the court.

Under Turkish law, presenting a judicial decision that does not exist as legal authority cannot be placed directly and uncontroversially within the duty of truthfulness concerning facts under Article 29(2) HMK. Akil's approach, which excludes legal evaluations from that duty, supports this conclusion, while the doctrinal debate reported by Demirel Mit shows that broader interpretations also exist. Rather than adopting a categorical exclusion, it is therefore more persuasive to treat Article 29(1)'s principle of good faith as the stronger procedural basis for legal-authority citations and to ground counsel's personal responsibility separately in Articles 34 and 134 of the Attorneyship Law and the TBB's current verification standard.

Procedural consequences are likewise not uniform. A simple citation-detail error should first be corrected; an AI output used without verification should be assessed under professional diligence on the facts of the case. Continued reliance on false authority after warning, and deliberate falsification, warrant more serious treatment. Article 327 HMK may apply only where a concrete link is established between the false citation and unnecessary delay or expense; Article 329 only where its own conditions of bad faith and groundless litigation are satisfied. Professional discipline must be assessed separately within the Attorneyship Law's own framework.

Comparative law does not point to a single model. Rule 11 and Mata reflect technology-neutral reasonable inquiry; Ayinde professional source checking; New South Wales special verification for specified documents prepared with GenAI; and New Zealand and KG Berlin the continuity of existing professional responsibility. By contrast, the CJC in England and Wales reported a strong view that new AI-specific formalities for professional court documents were not presently necessary. Ontario, meanwhile, adopted technology-neutral certification of the authenticity of every authority and the accuracy of every direct quotation through a rule effective 1 September 2026.

Taken together, these contrasting examples support a measured conclusion for Turkish law. The TBB Guide of 28 August 2026 has now concretized the professional basis of a verification standard. At the first stage, that standard can be supported through training, professional guidance, and non-blocking UYAP reminders. A mandatory 'Judicial-Citation Verification Certificate' should not be presumed necessary; it should be considered only if the frequency of false citations and the inadequacy of existing measures are demonstrated empirically and a clear legal basis is supplied. If such a certificate is introduced, it should be confined to objectively verifiable matters—the authenticity of the decision, identifying particulars, and accuracy of direct quotations—while leaving relevance and precedential weight to counsel's professional

Guide states that AI use alone should not be treated as a ground for disciplinary sanctions; the assessment should instead focus on the specific breach, harm, fault, data-security violation, or deficiency in professional diligence.

55 Ontario Regulation 275/26, Rules of Civil Procedure, r. 4.06.1(2.1), published 12 August 2026, effective 1 September 2026. The rule requires the signatory of a factum to certify being satisfied that every cited authority is authentic and every direct quotation accurately reproduces the text of that authority.

judgment. This approach preserves human responsibility without prohibiting innovation and offers a procedural balance capable of remaining valid as technology changes.

4. REFERENCES

Attorneyship Law No. 1136 [Avukatlık Kanunu]. (1969). Resmî Gazete, No. 13168, 7 April 1969.

Code of Civil Procedure No. 6100 [Hukuk Muhakemeleri Kanunu]. (2011). Resmî Gazete, No. 27836, 4 February 2011.

Law No. 7571 Amending the Turkish Penal Code, Certain Laws and Decree-Law No. 631 [7571 sayılı Türk Ceza Kanunu ile Bazı Kanunlarda ve 631 Sayılı Kanun Hükmünde Kararnamede Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun]. (2025). Resmî Gazete, No. 33118, 25 December 2025.

Akil, C. (2018). Avukatların gerçeği söyleme yükümlülüğü [Lawyers' duty of truthfulness]. Türkiye Adalet Akademisi Dergisi, 35, 41-56.

American Bar Association Standing Committee on Ethics and Professional Responsibility. (2024). Formal Opinion 512: Generative Artificial Intelligence Tools. 29 July 2024.

Amtsgericht Köln. (2025). Beschluss vom 02.07.2025 - 312 F 130/25, ECLI:DE:AGK:2025:0702.312F130.25.00.

Arslan, R. (1989). Medeni usul hukukunda dürüstlük kuralı [The principle of good faith in civil procedure]. Ankara: Sevinç Matbaası.

Ayinde, R (On the Application Of) v London Borough of Haringey; Al-Haroun v Qatar National Bank QPSC, [2025] EWHC 1383 (Admin) (6 June 2025).

Bar Council of England and Wales. (2024; last reviewed 25 November 2025). Considerations when using ChatGPT and generative artificial intelligence software based on large language models.

Browning, J. G. (2024). Robot Lawyers Don't Have Disciplinary Hearings—Real Lawyers Do: The Ethical Risks and Responses in Using Generative Artificial Intelligence. Georgia State University Law Review, 40(4), 917.

Bundesrechtsanwaltskammer. (2024). Hinweise zum Einsatz von künstlicher Intelligenz (KI). Stand: Dezember 2024.

Bundesrechtsanwaltskammer. (2026, 8 June). KI-Halluzination: KG ermahnt Anwältin wegen erfundener Urteile im Schriftsatz.

Civil Justice Council. (2026, 30 June). The Use of AI for the Preparation of Court Documents: Update on Consultation Findings.

Council of Bars and Law Societies of Europe (CCBE). (2025). CCBE guide on the use of generative AI for lawyers. 2 October 2025.

Council of Bars and Law Societies of Europe (CCBE). (2026). CCBE technical guide on the use of AI tools and models by lawyers. 27 March 2026.

Courts of New Zealand. (2023). Guidelines for Use of Generative Artificial Intelligence in Courts and Tribunals: Lawyers. 7 December 2023.

Dahl, M., Magesh, V., Suzgun, M., & Ho, D. E. (2024). Large Legal Fictions: Profiling Legal Hallucinations in Large Language Models. Journal of Legal Analysis, 16(1), 64-93. https://doi.org/10.1093/jla/laae003

Demirel Mit, C. (2025). Dürüst davranma ve doğruyu söyleme yükümlülüğü ile bu yükümlülüklere aykırılığın yaptırımı [The duties of good faith and truthfulness and sanctions for their breach]. Başkent Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 11(2), 337-380.

Denz, C. (2025). Berufs- und haftungsrechtliche Folgen von halluzinierten KI-Ergebnissen - 'Auf das (Aus)Maß kommt es an'. BRAK-Mitteilungen, 5/2025, 316-322.

Federal Rules of Civil Procedure, Rule 11 (United States).

Florida Bar. (2024). Ethics Opinion 24-1. 19 January 2024.
Kammergericht Berlin. (2025). Beschluss vom 20.11.2025 - 17 WF 144/25.
Karataş Durmuş, N., & Cebeci Çorum, F. (2026). Güncel gelişmeler ışığında hukuk alanında yapay zekâ kullanımının değerlendirilmesi [Assessment of the use of artificial intelligence in law in light of recent developments]. Adalet Dergisi, 76, 41-66. https://doi.org/10.57083/adaletdergisi.1917511
Kurt Konca, N. (2017). Medenî usûl hukukunda tarafların doğruyu söyleme yükümlülüğü [The parties' duty of truthfulness in civil procedure]. Ankara: Yetkin Yayınları.
Kurt Konca, N. (2026). Türk hukuk eğitiminin yapay zekâ çağının gereklerine uygun olarak reformu [Reforming Turkish legal education in accordance with the requirements of the AI era]. Türkiye Adalet Akademisi Dergisi, 66, 281-324. https://doi.org/10.54049/taad.1847659
Liu, P., Stammbach, D., & Henderson, P. (2026). Who Checks the Citations? Benchmarking Legal Hallucination Detection [Preprint]. arXiv:2606.21155.
Magesh, V., Surani, F., Dahl, M., Suzgun, M., Manning, C. D., & Ho, D. E. (2025). Hallucination-Free? Assessing the Reliability of Leading AI Legal Research Tools. Journal of Empirical Legal Studies, 22(2), 216-242. https://doi.org/10.1111/jels.12413
Mata v. Avianca, Inc., 678 F. Supp. 3d 443 (S.D.N.Y. 2023).
Ontario Regulation 275/26: Rules of Civil Procedure. (2026).
Özekes, M. (2005). Yargılamada dürüstlük kuralına aykırı davranan taraf aleyhine hükmedilecek vekâlet ücreti [Attorney's fees awarded against a party acting contrary to procedural good faith]. Legal Medenî Usûl ve İcra-İflâs Hukuku Dergisi, 2005/1, 29-49.
Papakçı, A. (2016). Dürüst davranma ve doğruyu söyleme yükümlülüğü [The duties of good faith and truthfulness]. Bahçeşehir Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 137-138, 103-123.
Pekcanıtez, H., Atalay, O., & Özekes, M. (2024). Medenî usûl hukuku - temel bilgiler [Civil procedure law - basic principles] (18th ed.). İstanbul: On İki Levha Yayıncılık.
Supreme Court of New South Wales. (2025). Practice Note SC Gen 23 - Use of Generative Artificial Intelligence, amended 28 January 2025.
Tanrıver, S. (2024). Medenî usûl hukuku, Cilt I: Temel kavramlar ve ilk derece yargılaması [Civil procedure law, Vol. I: Basic concepts and first-instance proceedings] (6th ed.). Ankara: Yetkin Yayınları.
Tercan, E. (1996). Medeni usul hukukunda gerçeği söyleme yükümlülüğü [The duty of truthfulness in civil procedure]. Selçuk Üniversitesi Hukuk Fakültesi Dergisi, 5(1-2), 181-212.
Terzidou, K. (2025). Generative AI systems in legal practice offering quality legal services while upholding legal ethics. International Journal of Law in Context, 21(3), 431-452. https://doi.org/10.1017/S1744552325000047
Union of Turkish Bar Associations (TBB). (2026). Avukatlar İçin Yapay Zekâ Kullanımı Tavsiye Rehberi [Advisory Guide on AI Use for Lawyers]. Bilişim ve Teknoloji Hukuku Komisyonu, 28 August 2026.
Uluç, İ. (2025). Generative Artificial Intelligence in Legal Practice: Use and Regulation. Ankara Barosu Dergisi, 83(3), 601-654. https://doi.org/10.30915/abd.1668618

KONTROLLÜ EKSİKLİK ALTINDA ÇOK DEĞİŞKENLİ FİNANSAL ZAMAN SERİLERİ İÇİN DÖNGÜSEL HİBRİT DOLDURMANIN (CHIT) DEĞERLENDİRİLMESİ

Kurban KOTAN
Department of Artificial Intelligence and Machine Learning, Faculty of Computer and Information Sciences, Manisa Celal Bayar University, Manisa, 45140, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-6660-0565

ÖZET
Finansal zaman serilerinde eksik gözlemler; asenkron işlemler, veri toplama hataları, likidite yetersizliği ve piyasa takvimi farklılıkları nedeniyle yaygındır. Bu gözlemlerin ele alınış biçimi, hem yeniden oluşturulan değerleri hem de aşağı akış tahmin modellerinden elde edilen sonuçları değiştirebilir. Bu çalışmada Döngüsel Hibrit Doldurma Tekniği (CHIT), çok değişkenli finansal diziler için pencereli ve öznitelik başına çalışan zamansal bir doldurucu olarak uyarlanmış; yeniden oluşturma başarısı ile tahmin başarısını ayrı değerlendiren, kronolojik bölümlere duyarlı bir karşılaştırma düzeni kurulmuştur. Fiyat, hacim, getiri ve teknik gösterge değişkenlerini içeren BIST 30 ve S&P 500 verileri kronolojik olarak eğitim, doğrulama ve test bölümlerine ayrılmıştır. Tamamen Rastgele Eksik, gözlenen eş değişkenlere bağlı Rastgele Eksik ve bitişik blok eksikliği desenleri, tam gerçek değerler korunduktan sonra %10, %20 ve %30 oranlarında uygulanmıştır. Ortalama doldurma, doğrusal interpolasyon, K-en yakın komşu, MICE, MissForest türü topluluk, CHIT, SAITS ve BRITS olmak üzere sekiz yöntem karşılaştırılmıştır. Toplam 432 doldurma çalıştırmasında CHIT, dağınık eksiklikte en düşük normalize edilmiş kök ortalama kare hatayı elde etmiştir: MCAR için 0,148 ve MAR için 0,253. Doğrusal interpolasyonun karşılık gelen değerleri 0,187 ve 0,280'dir. Bitişik bloklarda ise interpolasyon 0,253 ile CHIT'in 0,289 değerinden daha iyi sonuç vermiştir. CHIT, eşleştirilmiş 54 koşulun 47'sinde interpolasyona üstün gelmiş ve topluluk ile derin doldurucudan 36-138 kat daha hızlı çalışmıştır. Aşağı akış deneyinde CHIT-GRU en düşük standartlaştırılmış getiri MAE'sini (0,686) üretmiş; ancak tüm işlem hatlarında yön doğruluğu şansa yakın kalmıştır. Bulgular, zamansal yerelliğin ve eksiklik yapısının yöntem seçiminde belirleyici olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: eksik veri, veri doldurma, finansal zaman serileri, Döngüsel Hibrit Doldurma Tekniği, LSTM, GRU, veri sızıntısı

EVALUATING CYCLICAL HYBRID IMPUTATION FOR MULTIVARIATE FINANCIAL TIME SERIES UNDER CONTROLLED MISSINGNESS

ABSTRACT
Missing observations are common in financial time series because of asynchronous trading, collection failures, illiquidity, and market-calendar effects. Their treatment can alter both reconstructed values and conclusions obtained from forecasting models. This study adapts the Cyclical Hybrid Imputation Technique (CHIT) to multivariate financial sequences as a windowed, per-feature temporal imputer and evaluates it in a split-aware benchmark that distinguishes reconstruction quality from downstream forecasting quality. Chronologically split BIST 30 and S&P 500 data include price, volume, return, and technical-indicator variables. Missing Completely at Random, covariate-dependent Missing at Random, and contiguous block-missing patterns are injected at 10%, 20%, and 30% rates after complete ground truth is preserved. Eight methods are compared: mean filling, linear interpolation, K-nearest-neighbor imputation, MICE, a MissForest-style ensemble, CHIT, SAITS, and BRITS. Across 432 imputation runs, CHIT achieved the lowest normalized root mean squared error under scattered

missingness (0.148 for MCAR and 0.253 for MAR), outperforming linear interpolation (0.187 and 0.280). Interpolation retained an edge for contiguous blocks (0.253 versus 0.289). CHIT was favored over interpolation in 47 of 54 matched conditions and remained 36-138 times faster than the ensemble and deep imputers. In the downstream experiment, CHIT-GRU obtained the lowest standardized return MAE (0.686), but directional accuracy remained close to chance for every pipeline. The findings identify temporal locality and missingness structure as decisive factors: CHIT is a strong option for scattered financial gaps, whereas interpolation remains preferable for long contiguous gaps.
Keywords: missing data, imputation, financial time series, cyclical hybrid imputation technique, LSTM, GRU, data leakage

1. INTRODUCTION

Financial observations form ordered multivariate sequences, yet values may be absent because exchanges follow different calendars, instruments become temporarily illiquid, vendors lose records, or preprocessing aligns asynchronous observations. Complete-case deletion discards temporal information, whereas unconditional mean filling suppresses variance and correlation. Missing Completely at Random (MCAR) means that absence is independent of the data; Missing at Random (MAR) means that absence may depend on observed covariates; and Missing Not at Random (MNAR) means that absence depends on unobserved values after conditioning on observed information (Little & Rubin, 2019; Rubin, 1987). Contiguous gaps form a further practical pattern that differs from isolated missing cells.

Classical approaches include multivariate imputation by chained equations (MICE), K-nearest-neighbor (KNN) reconstruction, random-forest imputation, and interpolation (Moritz & Bartz-Beielstein, 2017; Stekhoven & Bühlmann, 2012; Troyanskaya et al., 2001; van Buuren & Groothuis-Oudshoorn, 2011). Deep approaches represent masks, time gaps, bidirectional recurrence, adversarial learning, latent trajectories, self-attention, or conditional diffusion in different ways. Representative methods include GRU-D, BRITS, GAIN, GP-VAE, SAITS, CSDI, NAOMI, NRTSI, and adversarial multivariate imputers (Cao et al., 2018; Che et al., 2018; Du et al., 2023; Fortuin et al., 2020; Liu et al., 2019; Luo et al., 2018; Shan et al., 2023; Tashiro et al., 2021; Vaswani et al., 2017; Yoon et al., 2018). Existing benchmarks indicate that no single imputer dominates across data sets, missingness mechanisms, and downstream tasks (Emmanuel et al., 2021; Jäger et al., 2021; Shadbahr et al., 2023).

The Cyclical Hybrid Imputation Technique (CHIT) combines column-based temporary filling with row-based predictive reconstruction and cyclically updates the usable reference values (Kotan & Kırışoğlu, 2025). A later study used CHIT in BIST 30 forecasting before and during an economic crisis (Kotan et al., 2025). Neither publication, however, reported masked-entry reconstruction under controlled financial missingness. Its reconstruction accuracy, behavior under contiguous gaps, and relationship with recurrent forecasting therefore remained open empirical questions.

This study evaluates (i) a computationally bounded, windowed implementation of CHIT for multivariate financial sequences; (ii) MCAR, covariate-dependent MAR, and block missingness in two markets; (iii) masked-entry reconstruction separately from downstream LSTM/GRU forecasting; and (iv) matched accuracy and runtime comparisons. RQ1 asks whether CHIT lowers masked-entry normalized root mean squared error (NRMSE) relative to the evaluated imputers. RQ2 asks whether reconstruction gains persist in downstream forecasting. RQ3 examines whether rankings change between scattered and contiguous gaps. RQ4 examines the accuracy-runtime trade-off under the registered computational budget.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Problem formulation

Let X be a complete multivariate sequence with T trading days and D variables, and let M be a binary observation mask of the same dimensions. M(t,d)=1 denotes an observed value and M(t,d)=0 denotes a value hidden for evaluation. An imputer g maps the corrupted sequence and mask to a completed sequence. Reconstruction loss is calculated only on the artificially hidden set, so correct preservation of already observed cells cannot dominate the score.

2.2. Data, features, and chronological splits

Two markets were selected to reduce single-market dependence: BIST 30 (XU030.IS) and S&P 500 (^GSPC). Daily adjusted open, high, low, close, and volume observations from January 2015 through December 2025 were retained on each market's own trading calendar. Nine derived variables, together with OHLCV, produced 14 features: log return, high-low range, volume change, 5-, 10-, and 20-day moving-average gaps, 10-day rolling volatility, 14-day relative strength index, and moving-average convergence divergence. Warm-up rows were removed before mask generation, leaving complete ground truth. BIST 30 contained 2,725 observations and S&P 500 contained 2,747 observations. Chronological 70/15/15 splits produced 1,907/409/409 and 1,922/412/413 training/validation/test rows, respectively. Table 1 summarizes the data and partitions.

Table 1. Dataset and split specification

Component	BIST 30	S&P 500
Frequency	Daily	Daily
Core fields	OHLCV	OHLCV
Derived fields	Returns and indicators	Returns and indicators
Observations	2,725	2,747
Split rows	1,907/409/409	1,922/412/413
Masks	MCAR/MAR/block	MCAR/MAR/block
Seeds	3 per condition	3 per condition

2.3. Time-series CHIT

The evaluated CHIT implementation reconstructed each feature from its own local temporal neighborhood rather than from the same-row cross-section. Missing cells were initialized by linear interpolation along time. For every feature, one linear regression model predicted the target from that feature's values on the three preceding and three following trading days. Model-fitting rows were restricted to originally observed targets. During each refinement pass, the models replaced only originally missing cells, and the updated estimates became inputs to the next pass. Three passes were completed, after which observed entries remained unchanged. This cached, feature-wise formulation retained the column/row and cyclical structure of CHIT while avoiding a separate model fit for every missing row. Table 2 summarizes the procedure.

Table 2. Leakage-controlled time-series CHIT procedure

Step	Operation
1	Split chronologically; fit learned transformations on training data
2	Initialize missing cells by linear interpolation along time
3	Fit one linear temporal model per feature on observed targets
4	Predict originally missing cells from the feature's ±3-day window
5	Feed updated estimates into the next refinement pass
6	Repeat three cycles and restore every observed value

Leakage control in this paper refers to separation between chronological partitions. Splitting preceded scaling, mask generation, imputer fitting, and hyperparameter selection; learned training transformations did not use validation or test values. The centered ±3-day CHIT window could use later covariate observations within the partition being retrospectively repaired. CHIT was therefore not evaluated as a strictly causal online imputer. The reconstruction analysis concerns retrospective data repair, and the downstream analysis concerns forecasting from completed historical sequences rather than a live-trading protocol.

2.4. Missingness mechanisms

MCAR masks were sampled uniformly at each target rate. MAR scores depended on observed volatility and volume-change covariates plus logistic noise, after which the highest eligible scores were masked. Block missingness removed contiguous spans from randomly selected features, with lengths sampled from a bounded geometric distribution. Nominal rates of 10%, 20%, and 30% were evaluated with three independently seeded masks. MNAR was excluded because its dependence on unobserved values requires an additional, unverifiable selection model.

2.5. Baselines and hyperparameter protocol

Eight imputers were evaluated: mean filling, linear interpolation, KNN, MICE, a MissForest-style iterative ExtraTrees ensemble, CHIT, SAITS, and BRITS. Classical implementations used scikit-learn (Pedregosa et al., 2011). KNN used five distance-weighted neighbors; MICE used median initialization and ten iterations; and the MissForest-style method used 40 ExtraTrees estimators for five iterative rounds. CHIT used the configuration in Section 2.3. The deep imputers used 20-step windows, ten epochs, batch size 32, and early stopping with patience three. SAITS used two attention layers and model width 64; BRITS used a recurrent hidden size of 64. This fixed, modest neural budget represented routine preprocessing rather than exhaustive method-specific optimization. Table 3 summarizes the evaluation matrix.

Table 3. Controlled evaluation matrix

Factor	Levels
Market	BIST 30; S&P 500
Mechanism	MCAR; MAR; block
Rate	10%; 20%; 30%
Imputer	8 methods including CHIT
Forecast model	LSTM; GRU
Primary outputs	NRMSE; return MAE; directional accuracy

2.6. Metrics, forecasting, and statistical analysis

Masked-entry reconstruction was measured by mean absolute error (MAE), root mean squared error (RMSE), and NRMSE; NRMSE divided RMSE by the standard deviation of the corresponding ground-truth values. The completed data were then supplied to matched LSTM and GRU forecasters (Hochreiter & Schmidhuber, 1997; Cho et al., 2014). Both used a 20-day look-back, 32 hidden units, Adam optimization, at most 18 epochs, and early stopping with patience four. Targets were future log return and direction. Return MAE/RMSE, directional accuracy, and macro-F1 were recorded; MAPE was excluded because returns near zero make it unstable (Hyndman & Koehler, 2006). Forecasting was evaluated at 20% missingness with the first registered seed.

Imputation results are reported as mean ± standard deviation across masks. Pairwise comparisons used Wilcoxon signed-rank tests over 54 matched market-mechanism-rate-seed conditions and Holm correction for seven planned comparisons. Wall-clock time included fitting and transformation but excluded data download; it should therefore be read as environment-specific rather than as a hardware-independent property. Failed runs, nonconvergence, and out-of-memory events were retained in the audit log rather than silently discarded. All 432 imputation runs were completed (2 markets × 3 mechanisms × 3 rates × 3 seeds × 8 methods).

3. RESEARCH AND FINDINGS

3.1. Reconstruction accuracy and runtime

Table 4 aggregates masked-entry NRMSE across markets, rates, and seeds within each missingness mechanism. CHIT ranked first under MCAR (0.148) and MAR (0.253), ahead of interpolation (0.187 and 0.280). For contiguous block gaps, interpolation ranked first (0.253) and CHIT ranked second (0.289). MICE was the strongest non-temporal classical method. Under the fixed neural budget, SAITS (overall mean NRMSE 0.856) and BRITS (0.910) trailed the temporal methods. Figure 1 displays the mechanism-wise errors, and Figure 2 shows the corresponding accuracy-runtime trade-off.

Table 4. Masked-entry NRMSE (mean ± SD) and mean fit-transform time

Method	MCAR	MAR	Block	Time (s)
Mean	1.200 ± 0.012	1.190 ± 0.018	1.186 ± 0.022	0.003
Interpolation	0.187 ± 0.143	0.280 ± 0.199	0.253 ± 0.185	0.023
KNN	1.117 ± 0.137	1.140 ± 0.099	1.074 ± 0.156	0.547
MICE	0.356 ± 0.078	0.719 ± 0.278	0.546 ± 0.305	0.543
MissForest-style	0.744 ± 0.183	0.852 ± 0.132	0.728 ± 0.184	12.408
CHIT	0.148 ± 0.108	0.253 ± 0.175	0.289 ± 0.247	0.090
SAITS	0.845 ± 0.230	0.878 ± 0.198	0.845 ± 0.211	3.230
BRITS	0.889 ± 0.175	0.942 ± 0.152	0.899 ± 0.159	6.569

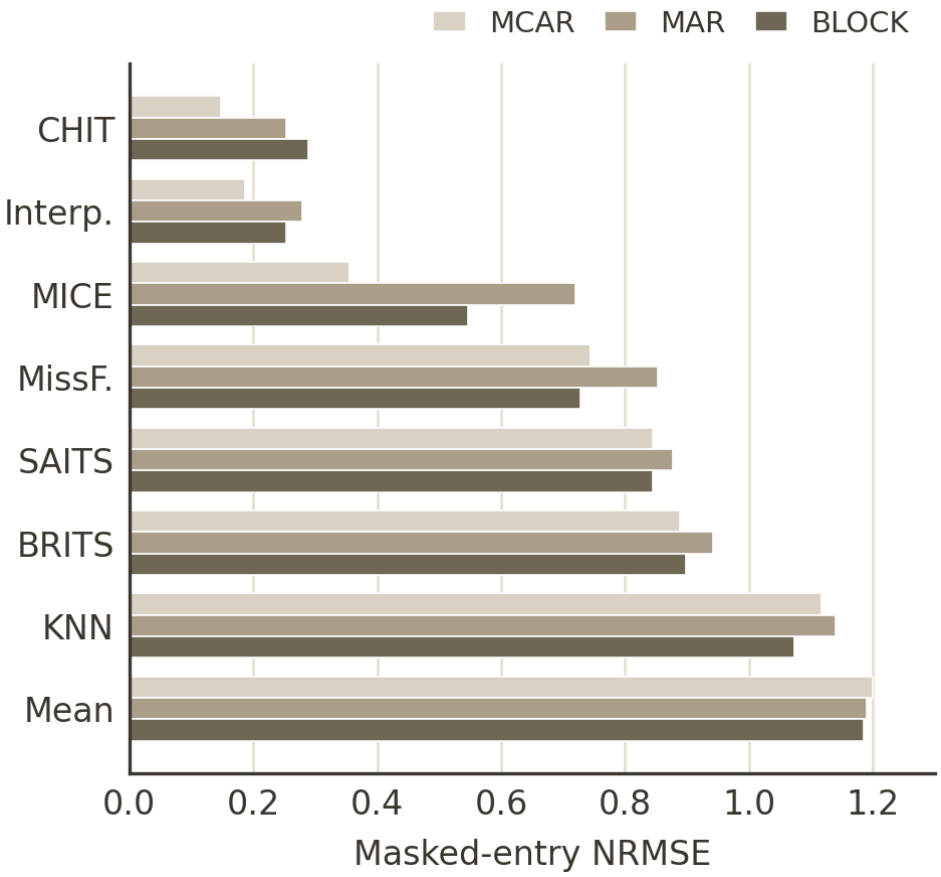


Figure 1. Masked-entry NRMSE by method and missingness mechanism, averaged over both markets, three rates, and three seeds. Lower is better.

Wilcoxon tests indicated lower NRMSE for CHIT than for mean filling (median paired difference -1.028), KNN (-0.976), BRITS (-0.692), SAITS (-0.667), the MissForest-style method (-0.565), MICE (-0.274), and interpolation (-0.005). All Holm-adjusted p-values were significant, ranging from below 10^{-9} to 1.15×10^{-5}. CHIT had lower NRMSE than interpolation in 47 of 54 matched conditions. Its mean advantage appeared under MCAR (-0.039) and MAR (-0.027), whereas the sign reversed for block gaps (+0.036). Mean fit-transform time was 0.090

s for CHIT, compared with 12.408 s for the ensemble, 3.230 s for SAITS, and 6.569 s for BRITS.

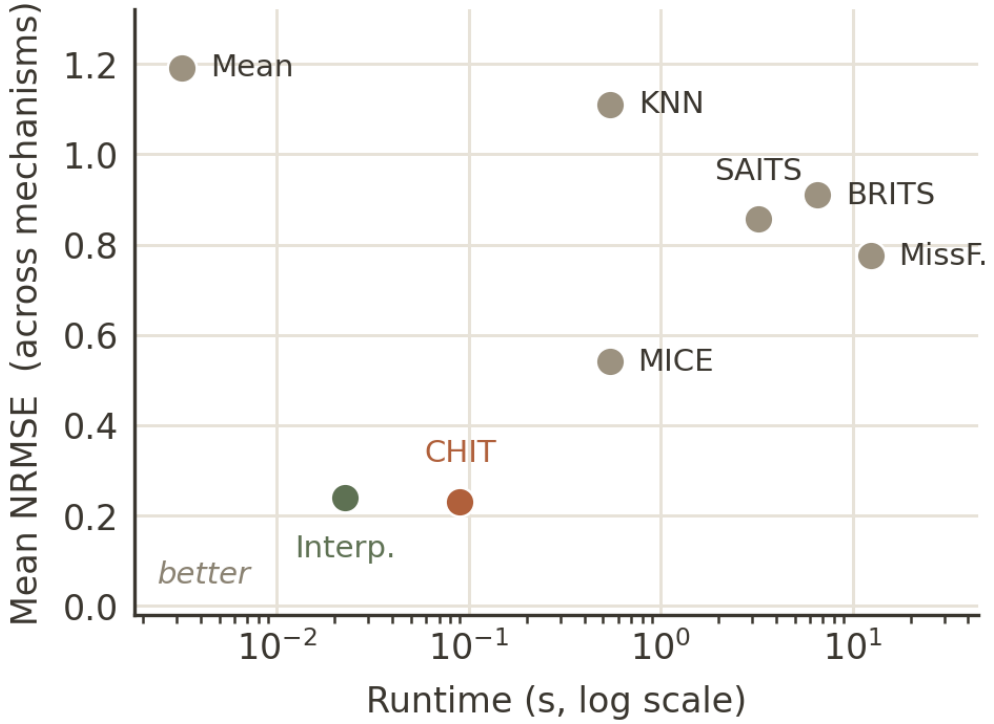


Figure 2. Accuracy-runtime trade-off. Mean NRMSE is plotted against mean fit-transform time on a logarithmic runtime scale.

3.2. Downstream forecasting

Table 5 presents forecasting at 20% missingness for the GRU, which produced lower return MAE than the matched LSTM for seven of the eight imputers; the mean-filled pipelines were effectively tied. CHIT-GRU achieved the lowest standardized return MAE (0.686) and RMSE (0.991), only marginally ahead of interpolation-GRU (0.687 and 0.992). SAITS-GRU and BRITS-GRU occupied the middle of the ranking. Directional accuracy ranged from 0.503 to 0.517 in Table 5 and remained near chance across the broader set of pipelines; these results do not establish a reliable trading-direction advantage.

Table 5. Downstream forecasting at 20% missingness

Imputer	Model	MAE	RMSE	Directional accuracy
CHIT	GRU	0.686	0.991	0.503
Interpolation	GRU	0.687	0.992	0.504
MICE	GRU	0.697	1.000	0.514
SAITS	GRU	0.698	1.001	0.517
MissForest-style	GRU	0.703	1.004	0.517
KNN	GRU	0.704	1.009	0.510
BRITS	GRU	0.707	1.009	0.507
Mean	GRU	0.716	1.017	0.508

4. DISCUSSION

The reconstruction and forecasting results should be interpreted separately. CHIT achieved lower masked-entry error than the evaluated cross-sectional and deep imputers and a small average improvement over interpolation for scattered and covariate-dependent gaps. Because CHIT began from interpolated values, this difference represents the combined pipeline's learned temporal refinement rather than an entirely independent filling mechanism. The observed pattern is consistent with useful local temporal information, but it does not by itself establish a causal mechanism.

The ranking changed for contiguous gaps: interpolation retained the advantage when local observations were removed in blocks. CHIT should therefore not be described as universally dominant. Within the tested settings, it was strongest for scattered MCAR and covariate-dependent MAR gaps, whereas interpolation was preferable for contiguous blocks. This mechanism-specific interpretation is more defensible than a single overall ranking.

SAITS and BRITS ranked behind the leading temporal methods under the fixed ten-epoch budget and the available daily sample sizes. This result is limited to the tested architecture and training budget; it is not evidence of a general limitation of deep imputers. Larger cross-instrument panels, transfer learning, or method-specific tuning could change the ranking. CHIT's observed 36-138-fold runtime advantage over the ensemble and deep imputers remains practically relevant when imputation must be repeated across masks or validation folds, although runtime values are environment-specific.

Downstream return errors broadly followed reconstruction quality, but the differences were small. The return target remained observed while covariates were masked, and lagged returns supplied a common signal to every pipeline. Improved covariate reconstruction therefore did not produce a dependable directional edge in this experiment. This restrained interpretation is consistent with cautions against overreading small forecasting-error differences in financial applications (Fischer & Krauss, 2018; Lim et al., 2021; Sezer et al., 2020). The analysis is methodological and does not constitute investment advice.

Threats to validity include vendor-specific price adjustments, the use of aggregate indices, artificial mask injection, market-regime changes, and a fixed hyperparameter budget. Two markets cannot establish universal financial generality. The centered CHIT window also limits the claims to retrospective repair. MNAR, online imputation, intraday observations, dynamically changing constituents, probabilistic calibration, and exhaustive neural tuning were not evaluated. Future work should address these exclusions under matched computational budgets and independent replication.

5. CONCLUSION

This study evaluated a windowed, feature-wise implementation of CHIT for multivariate financial time series under controlled MCAR, MAR, and block missingness. Across 432 completed imputation runs, CHIT produced the lowest average reconstruction error for MCAR and MAR, whereas interpolation remained better for contiguous blocks. CHIT-GRU produced the lowest downstream return error, but its margin over interpolation was small and directional performance remained near chance. The evidence supports CHIT as an efficient retrospective option for scattered financial gaps within the tested settings; broader claims require additional markets, missingness models, and tuning budgets.

DECLARATION OF GENERATIVE AI AND AI-ASSISTED TECHNOLOGIES

During the preparation of this work, the author used artificial-intelligence-based large language models, including Claude (Anthropic) and Codex (OpenAI), to assist with code review, reference verification, formatting checks, and language and readability editing. After using these tools, the author reviewed and edited the content as needed and takes full responsibility

for the scientific content, analysis, interpretation, and conclusions of the manuscript.

DATA AND CODE AVAILABILITY

The study used public aggregate market records and contained no human-subject or personally identifiable data. The experiment package contains the notebook, run metadata, 432-run reconstruction results, forecasting results, and statistical-test outputs. These materials and the data-acquisition parameters are available from the author upon reasonable request, subject to the applicable data-source licenses.

COMPETING INTERESTS

The author declares no competing interests.

REFERENCES

Cao, W., Wang, D., Li, J., Zhou, H., Li, L., & Li, Y. (2018). BRITS: Bidirectional recurrent imputation for time series. Advances in Neural Information Processing Systems, 31.

Che, Z., Purushotham, S., Cho, K., Sontag, D., & Liu, Y. (2018). Recurrent neural networks for multivariate time series with missing values. Scientific Reports, 8, 6085. https://doi.org/10.1038/s41598-018-24271-9

Cho, K., van Merriënboer, B., Gulcehre, C., Bahdanau, D., Bougares, F., Schwenk, H., & Bengio, Y. (2014). Learning phrase representations using RNN encoder-decoder for statistical machine translation. Proceedings of EMNLP, 1724-1734. https://doi.org/10.3115/v1/D14-1179

Du, W., Côté, D., & Liu, Y. (2023). SAITS: Self-attention-based imputation for time series. Expert Systems with Applications, 219, 119619. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.119619

Emmanuel, T., Maupong, T., Mpoeleng, D., Semong, T., Mphago, B., & Tabona, O. (2021). A survey on missing data in machine learning. Journal of Big Data, 8, 140. https://doi.org/10.1186/s40537-021-00516-9

Fischer, T., & Krauss, C. (2018). Deep learning with long short-term memory networks for financial market predictions. European Journal of Operational Research, 270(2), 654-669. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.11.054

Fortuin, V., Baranchuk, D., Rätsch, G., & Mandt, S. (2020). GP-VAE: Deep probabilistic time series imputation. Proceedings of the 23rd International Conference on Artificial Intelligence and Statistics, 108, 1651-1661. https://proceedings.mlr.press/v108/fortuin20a.html

Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term memory. Neural Computation, 9(8), 1735-1780. https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.8.1735

Hyndman, R. J., & Koehler, A. B. (2006). Another look at measures of forecast accuracy. International Journal of Forecasting, 22(4), 679-688. https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2006.03.001

Jäger, S., Allhorn, A., & Bießmann, F. (2021). A benchmark for data imputation methods. Frontiers in Big Data, 4, 693674. https://doi.org/10.3389/fdata.2021.693674

Kotan, K., & Kırışoğlu, S. (2025). Cyclical hybrid imputation technique for missing values in data sets. Scientific Reports, 15, 6543. https://doi.org/10.1038/s41598-025-90964-7

Kotan, K., Kotan, B., & Kirişoğlu, S. (2025). Detection of economic crises with language models and comparative analysis of simple time series analysis models and machine learning algorithms on the stock market. IEEE Access, 13, 83254-83273. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3567743

Lim, B., Arık, S. Ö., Loeff, N., & Pfister, T. (2021). Temporal fusion transformers for interpretable multi-horizon time series forecasting. International Journal of Forecasting, 37(4), 1748-1764. https://doi.org/10.1016/j.ijforecast.2021.03.012

Little, R. J. A., & Rubin, D. B. (2019). Statistical analysis with missing data (3rd ed.). Wiley. https://doi.org/10.1002/9781119482260

Liu, Y., Yu, R., Zheng, S., Zhan, E., & Yue, Y. (2019). NAOMI: Non-autoregressive

multiresolution sequence imputation. Advances in Neural Information Processing Systems, 32.
Luo, Y., Cai, X., Zhang, Y., Xu, J., & Yuan, X. (2018). Multivariate time series imputation with generative adversarial networks. Advances in Neural Information Processing Systems, 31.
Moritz, S., & Bartz-Beielstein, T. (2017). imputeTS: Time series missing value imputation in R. The R Journal, 9(1), 207-218. https://doi.org/10.32614/RJ-2017-009
Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V., Vanderplas, J., Passos, A., Cournapeau, D., Brucher, M., Perrot, M., & Duchesnay, É. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. Journal of Machine Learning Research, 12, 2825-2830. https://www.jmlr.org/papers/v12/pedregosa11a.html
Rubin, D. B. (1987). Multiple imputation for nonresponse in surveys. Wiley. https://doi.org/10.1002/9780470316696
Sezer, O. B., Gudelek, M. U., & Ozbayoglu, A. M. (2020). Financial time series forecasting with deep learning: A systematic literature review: 2005-2019. Applied Soft Computing, 90, 106181. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2020.106181
Shadbahr, T., Roberts, M., Stanczuk, J., Gilbey, J., Teare, P., Dittmer, S., Thorpe, M., Viñas Torné, R., Sala, E., Lió, P., Patel, M., Preller, J., AIX-COVNET Collaboration, Rudd, J. H. F., Mirtti, T., Rannikko, A. S., Aston, J. A. D., Tang, J., & Schönlieb, C.-B. (2023). The impact of imputation quality on machine learning classifiers for datasets with missing values. Communications Medicine, 3, 139. https://doi.org/10.1038/s43856-023-00356-z
Shan, S., Li, Y., & Oliva, J. B. (2023). NRTSI: Non-recurrent time series imputation. Proceedings of the IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 1-5. https://doi.org/10.1109/ICASSP49357.2023.10095054
Stekhoven, D. J., & Bühlmann, P. (2012). MissForest: Non-parametric missing value imputation for mixed-type data. Bioinformatics, 28(1), 112-118. https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btr597
Tashiro, Y., Song, J., Song, Y., & Ermon, S. (2021). CSDI: Conditional score-based diffusion models for probabilistic time series imputation. Advances in Neural Information Processing Systems, 34, 24804-24816.
Troyanskaya, O., Cantor, M., Sherlock, G., Brown, P., Hastie, T., Tibshirani, R., Botstein, D., & Altman, R. B. (2001). Missing value estimation methods for DNA microarrays. Bioinformatics, 17(6), 520-525. https://doi.org/10.1093/bioinformatics/17.6.520
van Buuren, S., & Groothuis-Oudshoorn, K. (2011). mice: Multivariate imputation by chained equations in R. Journal of Statistical Software, 45(3), 1-67. https://doi.org/10.18637/jss.v045.i03
Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., & Polosukhin, I. (2017). Attention is all you need. Advances in Neural Information Processing Systems, 30.
Yoon, J., Jordon, J., & van der Schaar, M. (2018). GAIN: Missing data imputation using generative adversarial nets. Proceedings of the 35th International Conference on Machine Learning, 80, 5689-5698. https://proceedings.mlr.press/v80/yoon18a.html

SAĞLIK ÇALIŞANLARINDA DUYGUSAL ZEKÂ VE ALEKSİTİMİ SEVİYELERİNİN, İŞ KAZASI VE MESLEK HASTALIKLARI OLUŞUMUNA ETKİSİ

Öğr. Gör. Dr. Fatih Mehmet ATEŞ
Bayburt University, Vocational School of Technical Sciences Department of Property Protection and Security, Civil Defense and Firefighting Program, 69000 Merkez, Bayburt
ORCID ID: 0000-0002-7497-2211

ÖZET
Sağlık çalışanlarında duygusal zekâ ve aleksitimi seviyelerinin iş kazası ve meslek hastalıkları oluşumuna etkileri önemli seviyededir. Çalışma kapsamında, duygusal zekâ, aleksitimi, iş kazaları, meslek hastalıkları ve sağlık çalışanlarına ait veriler analiz edilmiştir. Yüksek duygusal zekâ ve düşük aleksitimi düzeylerinin, sağlık çalışanlarının işyerindeki duygusal taleplerle başa çıkma kapasitesini artırarak iş kazalarını ve meslek hastalıklarını önlemede koruyucu olabileceğini göstermektedir. Düşük duygusal zekâ ve yüksek aleksitimi ise, artan iş stresi, tükenmişlik, dikkat dağınıklığı ve sağlıksız başa çıkma stratejileri aracılığıyla bu olumsuz sonuçlara zemin hazırlayabilmektedir. Ayrıca, sağlık çalışanlarında cinsiyet ve yaş faktörlerinin duygusal işleyiş üzerinde belirleyici rol oynadığı; özellikle genç ve erkek çalışanların daha yüksek aleksitimi ve daha düşük duygusal farkındalık düzeyleri nedeniyle daha savunmasız olduğu tespit edilmiştir. Duygusal zekâ ve aleksitimi, sağlık çalışanlarının iş sağlığı ve güvenliği açısından önemli psikolojik belirleyicilerdir. Sağlık kuruluşlarının, çalışanlarının duygusal sağlığını iyileştirmeye yönelik duygusal zekâ eğitimleri, aleksitimi farkındalık programları, stres yönetimi ve tükenmişliği önleme stratejileri gibi kapsamlı müdahale programları geliştirmesi önerilmektedir. Gelecekteki araştırmaların boylamsal desende, nesnel ölçümlerle ve farklı sağlık meslek gruplarını karşılaştıran şekilde tasarlanması gerekmektedir.
Anahtar kelimeler: Duygusal zekâ, aleksitimi, iş kazaları, meslek hastalıkları, sağlık çalışanları

THE EFFECT OF EMOTIONAL INTELLIGENCE AND ALEXITHYMIA LEVELS AMONG HEALTHCARE WORKERS ON THE OCCURRENCE OF WORK-RELATED ACCIDENTS AND OCCUPATIONAL DISEASE

ABSTRACT
The effects of emotional intelligence and alexithymia levels among healthcare workers on the occurrence of workplace accidents and occupational diseases are significant. As part of this study, data on emotional intelligence, alexithymia, workplace accidents, occupational diseases, and healthcare workers were analyzed. The findings suggest that high levels of emotional intelligence and low levels of alexithymia may have a protective effect in preventing workplace accidents and occupational diseases by enhancing healthcare workers' ability to cope with emotional demands in the workplace. Conversely, low emotional intelligence and high alexithymia may contribute to these adverse outcomes through increased work-related stress, burnout, inattention, and unhealthy coping strategies. Furthermore, it has been found that gender and age play a decisive role in the emotional functioning of healthcare workers; in particular, younger and male workers are more vulnerable due to higher levels of alexithymia and lower levels of emotional awareness. Emotional intelligence and alexithymia are important

psychological determinants of occupational health and safety for healthcare workers. It is recommended that healthcare organizations develop comprehensive intervention programs-such as emotional intelligence training, alexithymia awareness programs, stress management, and burnout prevention strategies-aimed at improving the emotional well-being of their employees. Future research should be designed using a longitudinal design, objective measurements, and comparisons across different healthcare professional groups.
Keywords: Emotional intelligence, alexithymia, occupational accidents, occupational diseases, healthcare professionals

1. GİRİŞ

Sağlık hizmetleri sektörü, çalışanlarının fiziksel ve psikolojik sağlığı açısından yüksek risk taşıyan bir çalışma ortamı sunmaktadır. Sağlık çalışanları, hastalarla yoğun duygusal etkileşim, yaşam ve ölüm kararları, uzun çalışma saatleri, vardiya usulü çalışma ve iş yükünün fazlalığı gibi benzersiz stresörlerle karşı karşıyadır (Hur vd., 2022). Bu faktörler, sağlık çalışanlarını yalnızca fiziksel yaralanmalara (iş kazaları) değil, aynı zamanda uzun vadeli sağlık sorunlarına (meslek hastalıkları) da yatkın hale getirmektedir (Lucas vd., 2023). Son yıllarda, iş sağlığı ve güvenliği alanında, fiziksel risk faktörlerinin yanı sıra psikososyal ve duygusal faktörlerin de iş kazaları ve meslek hastalıkları üzerindeki etkisine yönelik ilgi artmıştır (Edmund vd., 2023).

Bu bağlamda, "duygusal zeka" (emotional intelligence) ve "aleksitimi" (alexithymia) kavramları, bireylerin iş ortamındaki duygusal taleplerle başa çıkma yeteneklerini anlamada önemli psikolojik yapılar olarak öne çıkmaktadır. Duygusal zeka, bireyin kendi duygularını ve başkalarının duygularını doğru bir şekilde algılama, anlama, ifade etme ve düzenleme yeteneği olarak tanımlanır (Mayer ve Salovey, 1997). Yüksek duygusal zekaya sahip bireyler, stresli durumlarda daha etkili başa çıkma stratejileri geliştirebilir, sosyal ilişkilerinde daha başarılı olabilir ve iş ortamındaki zorluklara karşı daha dayanıklıdır (Goleman, 1995).

Aleksitimi ise, bireylerin kendi duygularını tanımakta, ifade etmekte ve duyguları bedensel duyumlardan ayırt etmekte zorlandığı, somut ve içe dönük olmayan düşünce tarzı ile karakterize bir duygusal işlev bozukluğudur (Sifneos, 1973). Aleksitimik bireyler genellikle duygularını söze dökmede zorlanır, hayal gücü kısıtlıdır ve dış dünyaya yönelik bilişsel bir stil sergilerler (Nemiah vd., 1976). Bu durum, psikosomatik bozukluklar başta olmak üzere çeşitli fiziksel ve zihinsel sağlık sorunları için bir risk faktörü olarak kabul edilmektedir (Taylor vd., 1997).

Her iki kavram da duygusal işlevsellikle ilgili olmakla birlikte, duygusal zeka adaptif bir yetenek, aleksitimi ise maladaptif bir özellik olarak değerlendirilebilir (Leccese vd., 2023). Bu derlemenin amacı, sağlık çalışanlarında duygusal zeka ve aleksitimi seviyelerinin iş kazası ve meslek hastalıkları oluşumuna etkisini inceleyen mevcut literatürü sistematik bir şekilde gözden geçirmek, konunun tarihsel gelişimini irdelemek, elde edilen bulguları sentezlemek ve gelecekteki araştırmalar için öneriler geliştirmektir.

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Duygusal zeka ve aleksitimi kavramlarının iş sağlığı alanındaki incelemesi, iş psikolojisi ve örgütsel davranış disiplinlerinin gelişimine paralel olarak ilerlemiştir. Aleksitimi kavramı ilk olarak 1970'lerde psikosomatik tıp alanında ortaya atılmıştır. Sifneos (1973) tarafından, duygularını ifade etmekte zorlanan ve bu nedenle psikosomatik hastalıklara yatkın olan hasta grubunu tanımlamak için kullanılmıştır. Aleksitimiyi oluşturan temel özellikler; (1) duyguları tanımada ve sözel olarak ifade etmede zorluk, (2) hayal kurma ve fantezi kapasitesinde kısıtlılık, (3) duyguları bedensel duyumlardan ayırt edememe ve (4) dışa dönük, somut düşünce tarzı (operasyonel düşünce) olarak tanımlanmıştır (Nemiah vd., 1976). Bu erken dönem

çalışmalar, aleksitiminin özellikle hipertansiyon, ülser, astım ve romatoid artrit gibi psikosomatik hastalıkların etiyolojisinde rol oynayabileceğini öne sürmüştür (Taylor vd., 1997).

Duygusal zeka kavramı ise, Salovey ve Mayer (1990) tarafından "bireyin kendi ve başkalarının duygularını izleme, bunları ayırt etme ve düşünce ve eylemlerine rehberlik etmek için bu bilgiyi kullanma yeteneği" olarak tanımlanmıştır. Goleman'ın (1995) "Duygusal Zeka" adlı kitabının yayınlanmasıyla birlikte kavram popülerlik kazanmış ve iş dünyasında, eğitimde ve sağlık alanında geniş bir uygulama alanı bulmuştur.

Her iki kavramın iş sağlığı alanındaki incelemesi ise daha yakın bir tarihe, özellikle 2000'li yıllardan itibaren artış göstermiştir. Araştırmacılar, çalışanların duygusal özelliklerinin, işyerindeki stresle başa çıkma, tükenmişlik, iş performansı ve iş kazaları gibi sonuçlarla ilişkili olduğunu fark etmişlerdir (Edmund vd., 2023). Sağlık çalışanları, duygusal olarak yoğun bir iş ortamında çalıştıkları için bu ilişkinin en belirgin görülebileceği gruplardan biri olmuştur (Zammuner vd., 2014). Özellikle hemşireler, doktorlar ve acil sağlık hizmetleri çalışanları üzerinde yapılan araştırmalar, duygusal zeka ve aleksitiminin iş performansı, hasta bakım kalitesi ve çalışan sağlığı üzerindeki etkilerini incelemiştir (Asadi vd., 2021).

2.1. Duygusal Zeka, Aleksitimi ve Sağlık Çalışanları

Sağlık çalışanları, mesleklerinin doğası gereği duygusal olarak zorlu durumlarla sürekli olarak karşılaşmaktadır. Hastaların acıları, ölüm haberleri, tedavi başarısızlıkları ve yoğun iş temposu, bu çalışanların duygusal kaynaklarını tüketebilmektedir (Hur vd., 2022). Duygusal zeka ve aleksitimi, bu duygusal taleplerle başa çıkmada belirleyici faktörler olarak görülmektedir (Leccese vd., 2023).

Zammuner, Verzeletti ve Favaro (2014) tarafından yapılan bir çalışma, sağlık çalışanlarının duygusal işleyiş ve psikolojik iyilik hali açısından özel bir risk popülasyonu olduğunu ortaya koymuştur. Bu çalışmada 240 sağlık çalışanı, çeşitli sektörlerdeki yaklaşık 2000 kişilik daha geniş bir örneklemle karşılaştırılmıştır. Bulgular, sağlık çalışanlarının duygusal farkındalık, düzenleme ve başa çıkma gibi duygusal işleyiş alanlarının çoğunda genel popülasyondan farklılaşmadığını, ancak aleksitimi ile ilişkili "dışa yönelik düşünce" (externally-oriented thought) alt boyutunda daha düşük puan aldıklarını göstermiştir. Ayrıca, sağlık çalışanlarının genel popülasyona göre daha yüksek iş doyumuna sahip oldukları belirlenmiştir. Ancak bu olumlu genel tablonun yanı sıra, cinsiyet ve yaş farklılıkları da dikkat çekicidir.

Aynı çalışmada, erkek sağlık çalışanlarının kadınlara göre daha fazla negatif duygu, duygusal emek, duygu ifadesini bastırma ve aleksitimi sergiledikleri; kadınların ise bilişsel yeniden değerlendirme, sosyal destek arama ve duygularını ifade etme gibi başa çıkma stratejilerini daha fazla kullandıkları bulunmuştur. Genç yaş grubundaki (25 yaş ve altı) çalışanların ise daha az duygusal farkındalık, daha az sosyal destek arama, daha fazla kaçınma ve bastırma, daha yüksek aleksitimi, daha düşük iş katılımı ve daha düşük sağlık düzeyi gibi riskli bir profil sergiledikleri belirtilmiştir (Zammuner vd., 2014).

Bu bulgular, sağlık çalışanları arasında bile duygusal işleyiş açısından önemli farklılıklar olduğunu ve özellikle genç ve erkek çalışanların daha savunmasız olabileceğini göstermektedir. Bu durum, iş kazası ve meslek hastalığı riski açısından da farklılıklar anlamına gelebilir.

Leccese ve arkadaşları (2023) ise aleksitimi ile duygusal zeka, empati ve duygusal inhibisyon arasındaki ilişkiyi kavramsal olarak incelemiştir. Aleksitiminin, duyguları tanıma, tanımlama ve somatik duyumlardan ayırt etmede güçlük ile karakterize olması, duygusal zeka ile teorik olarak zıt kutuplarda yer almasına rağmen, duygusal zeka ve empati gibi yapılarla da ilişkili olabileceğini vurgulamışlardır. Örneğin, düşük duygusal zeka, aleksitiminin bir sonucu veya bileşeni olarak görülebilir. Bu kavramsal çerçeve, aleksitimik bireylerin iş ortamında neden daha zorlandıklarını anlamaya yardımcı olur.

Bakumov ve arkadaşlarının (2016) sağlık çalışanları üzerinde yaptığı bir çalışmada, katılımcıların %40'ında aleksitimik özellikler tespit edilmiştir. Bu yüksek oran, aleksitiminin sağlık sektöründe önemli bir sorun olduğunu göstermektedir. Aynı çalışma, aleksitimik bireylerin duygularını yaşayamadıkları için bu duyguları vücutlarının içinde deneyimlediklerini, bunun da otonom sinir sistemi işlev bozukluklarına ve psikosomatik hastalıklara yol açabileceğini belirtmektedir (Bakumov vd., 2016).

Tablo 1. Sağlık çalışanlarında duygusal işleyiş ile ilgili araştırma bulguları

Değişken	Bulgu
Sağlık Çalışanları	Benzer duygusal farkındalık, düzenleme; ancak daha düşük aleksitimi-dışa yönelik düşünce (Zammuner vd., 2014).
Cinsiyet Farklılıkları (Erkek)	Daha yüksek negatif duygu; daha yüksek duygusal emek ve bastırma; daha yüksek aleksitimi (Zammuner vd., 2014).
Cinsiyet Farklılıkları (Kadın)	Daha yüksek bilişsel yeniden değerlendirme; daha yüksek sosyal destek arama; daha fazla duygu ifadesi (Zammuner vd., 2014).
Yaş Farklılıkları (Genç ≤25 yaş)	Daha az duygusal farkındalık ve sosyal destek; daha yüksek kaçınma, bastırma, aleksitimi; daha düşük iş katılımı ve sağlık düzeyi (Zammuner vd., 2014).
Aleksitimi Prevalansı	Sağlık çalışanlarının %40'ında aleksitimik özellikler mevcut (Bakumov vd., 2016).
Duygusal Zekâ ve İş Stresi	Duygusal zeka ile iş stresi arasında negatif korelasyon (Hidalgo Jurado vd., 2023).

Tablo 1, sağlık çalışanlarında duygusal işleyiş ile ilgili mevcut literatürdeki temel bulguları özetlemektedir.

2.2. İş Kazaları ve Meslek Hastalıkları

İş Kazaları: İş kazaları, işyerinde meydana gelen ve ölüme, yaralanmaya veya maddi hasara neden olan istenmeyen olaylardır. Sağlık sektöründe iş kazaları arasında kesici-delici alet yaralanmaları, düşmeler, hastalar tarafından şiddete maruz kalma, kimyasal maddelere maruziyet ve kas-iskelet sistemi zorlanmaları yer alır (Lucas vd., 2023). Bu kazaların oluşumunda fiziksel çevre koşulları, iş organizasyonu, ekipman kullanımı ve insan faktörleri rol oynar. İnsan faktörleri arasında dikkat dağınıklığı, yorgunluk, stres, karar verme hataları ve risk algısındaki farklılıklar bulunur (Samu vd., 2025). Duygusal zeka ve aleksitimi, bu insan faktörlerini doğrudan etkileyebilecek psikolojik özelliklerdir.

Meslek Hastalıkları: Meslek hastalıkları, işin yürütümü sırasında veya işin etkisiyle oluşan, geçici veya sürekli hastalık, sakatlık veya ruhsal bozukluk halleridir. Sağlık çalışanlarında sık görülen meslek hastalıkları arasında kas-iskelet sistemi hastalıkları (bel, boyun, omuz ağrıları), kardiyovasküler hastalıklar (hipertansiyon, kalp krizi), solunum sistemi hastalıkları (astım, alerjik rinit), enfeksiyon hastalıkları (hepatit, tüberküloz) ve ruhsal bozukluklar (depresyon, anksiyete, tükenmişlik) sayılabilir (Bakumov vd., 2016; Hur vd., 2022). Meslek hastalıklarının gelişiminde, fiziksel, kimyasal, biyolojik ve psikososyal risk etmenlerinin yanı sıra, bireysel duyarlılık ve başa çıkma mekanizmaları da etkilidir (Taylor vd., 1997).

2.3. Duygusal Zeka ve Aleksitiminin İş Kazaları ve Meslek Hastalıkları ile İlişkisi

Duygusal zeka ve aleksitiminin iş kazaları ve meslek hastalıkları üzerindeki etkisi, doğrudan ve dolaylı mekanizmalar yoluyla gerçekleşebilir.

2.3.1. Duygusal Zeka ve İş Kazaları

Yüksek duygusal zeka, iş kazalarını azaltıcı bir faktör olarak değerlendirilebilir (Edmund vd., 2023). Yapılan sistematik bir derleme, yüksek duygusal zekaya sahip bireylerin güvenlik açısından kritik ortamlarda daha güvenli kararlar aldığını ve daha az riskli davranış sergilediğini göstermiştir (Samu vd., 2025):

- *Öz Farkındalık:* Duygusal zekânın öz farkındalık boyutu, bireylerin kendi duygusal durumlarının farkında olmasını sağlar. Yoğun stres, öfke veya kaygı anında kişi, bu duyguların dikkat ve konsantrasyonunu olumsuz etkileyebileceğinin farkına vararak gerekli önlemleri alabilir (Goleman, 1995).
- *Öz Düzenleme:* Duyguları düzenleme yeteneği, stresli ve acil durumlarda soğukkanlılığı korumayı sağlar. Acil servis çalışanlarının kriz anlarında sakin kalabilmesi, doğru kararlar vermesine ve kazaları önlemesine yardımcı olur (Mayer ve Salovey, 1997).
- *Empati ve Sosyal Beceriler:* Empati ve etkili iletişim, ekip çalışmasını ve işbirliğini artırarak iletişim hatalarını ve dolayısıyla iş kazalarını azaltır (Goleman, 1995).

2.3.2. Aleksitimi ve İş Kazaları

Yüksek aleksitimi, iş kazası riskini artırıcı bir faktör olabilir (Leccese vd., 2023):

- *Duygusal Farkındalık Eksikliği:* Aleksitimik bireyler, kendi stres ve yorgunluk gibi duygusal sinyallerini fark etmekte zorlanırlar. Bu durum, iş yükü arttığında veya tehlikeli bir durum ortaya çıktığında vücudun verdiği uyarı işaretlerini göz ardı etmelerine neden olabilir (Nemiah vd., 1976).
- *Somut Düşünce:* Aleksitimide görülen somut, içe dönük olmayan düşünce tarzı, risk değerlendirmesinde ve güvenlik önlemlerine yönelik soyut planlamada zorluk yaratabilir (Taylor vd., 1997).
- *Başa Çıkma Güçlüğü:* Aleksitimik bireyler, duygularını söze dökemedikleri ve sosyal destek aramaktan kaçındıkları için, işyerinde yaşadıkları zorluklarla başa çıkmakta zorlanırlar. Bu durum, tükenmişlik ve stres düzeyini artırarak dikkat hatalarına yol açabilir (Bakumov vd., 2016).

2.3.3. Duygusal Zeka ve Meslek Hastalıkları

Yüksek duygusal zeka, meslek hastalıklarına karşı koruyucu olabilir (Hidalgo Jurado vd., 2025):

- *Stres Yönetimi:* Duygusal zekası yüksek bireyler, kronik iş stresini daha etkili yönetirler (Edmund vd., 2023). Bu durum, stresin tetiklediği kardiyovasküler hastalıklar, hipertansiyon ve bağışıklık sistemi sorunlarına karşı koruma sağlar.
- *Tükenmişlik:* Duygusal zeka, tükenmişlik sendromuna karşı direnç geliştirmede önemli bir faktördür (Hidalgo Jurado vd., 2023). Yüksek duygusal zeka, sağlık çalışanlarının işlerinde anlam bulmasını, duygusal tükenmeyi önlemesini ve kişisel başarı hissini korumasını destekler.
- *Sağlıklı Yaşam Tarzı:* Duygusal zeka, bireylerin sağlıklı yaşam tarzı seçimleri yapmasını da teşvik edebilir (Taylor vd., 1997).

2.3.4. Aleksitimi ve Meslek Hastalıkları

Aleksitimi, çeşitli meslek hastalıkları için bir risk faktörü olarak kabul edilmektedir (Taylor vd., 1997; Bakumov vd., 2016):

- *Psikosomatik Hastalıklar:* Aleksitimi, psikosomatik bozukluklarla güçlü ilişki içindedir. Duyguların bastırılması ve bedensel belirtilerle ifade edilmesi, somatik semptomların ortaya çıkmasına neden olabilir (Sifneos, 1973). Sağlık çalışanlarında uzun süreli aleksitimi,

kronik ağrı sendromları, gastrointestinal sorunlar ve cilt hastalıkları gibi psikosomatik rahatsızlıklara yol açabilir.

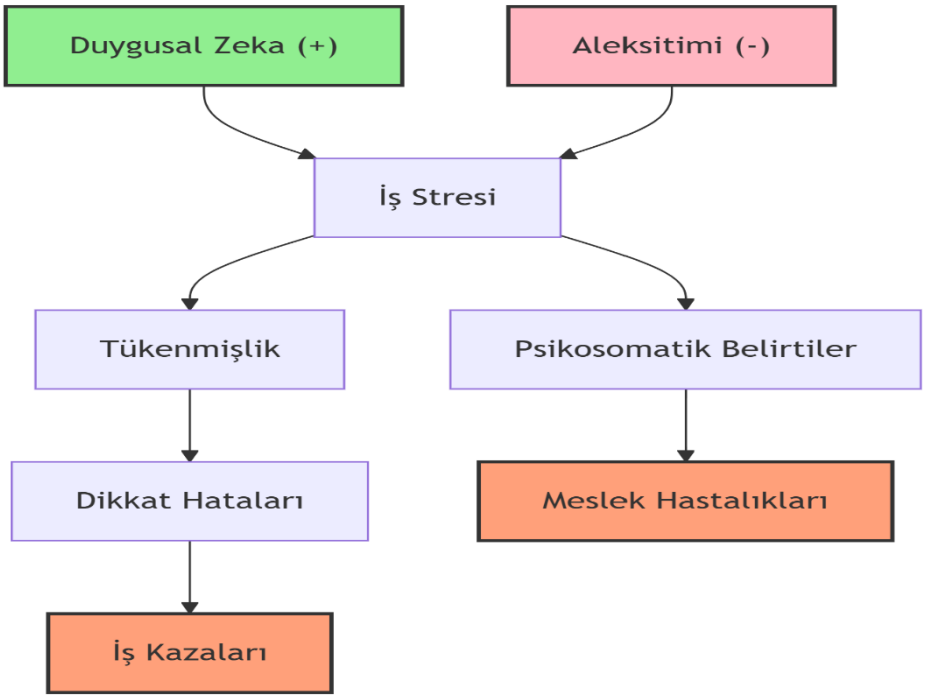
- *Ruhsal Bozukluklar:* Aleksitimi, depresyon, anksiyete bozuklukları ve özellikle travma sonrası stres bozukluğu (TSSB) ile ilişkilendirilmiştir (Asadi vd., 2021). Sağlık çalışanları, travmatik olaylara maruz kalma açısından risk altındadır. Aleksitimik bireyler, bu travmatik deneyimleri işleyemezler ve bu da ruhsal bozukluk riskini artırır.
- *Sağlık Davranışları:* Aleksitimik bireylerin, sağlıklarına yönelik tehditleri algılamada ve uygun sağlık davranışlarını sergilemede zorlandıkları da bilinmektedir (Taylor vd., 1997). Bu durum, koruyucu önlemleri (örneğin, kişisel koruyucu ekipman kullanımı) aksatabilir.

Tablo 2. Duygusal zekâ ve aleksitiminin iş kazaları ve meslek hastalıklarına etki mekanizmaları

Faktör	İş Kazalarına Etki Mekanizması	Meslek Hastalıklarına Etki Mekanizması
Yüksek Duygusal Zeka	• Stres yönetimi ile dikkat artışı (Edmund vd., 2023) • Duyguların farkındalığı ile hata azalması (Goleman, 1995) • Empati ile ekip iletişimi güçlenmesi (Mayer ve Salovey, 1997) • Duygu düzenleme ile soğukkanlılık korunması (Samu vd., 2025)	• Kronik stres yönetimi (Edmund vd., 2023) • Tükenmişliğe karşı direnç (Hidalgo Jurado vd., 2023) • Sağlıklı yaşam davranışları teşviki (Taylor vd., 1997) • Sosyal destek kullanımı ile psikolojik iyilik hali (Zammuner vd., 2014)
Yüksek Aleksitimi	• Duygusal farkındalık eksikliği ile uyarı sinyallerinin göz ardı edilmesi (Nemiah vd., 1976) • Somut düşünce ile risk değerlendirmesinde zorluk (Taylor vd., 1997) • Başa çıkma güçlüğü ile stres ve dikkat dağınıklığı (Bakumov vd., 2016)	• Duyguların somatizasyonu ile psikosomatik hastalıklar (Sifneos, 1973) • Ruhsal bozukluklar (depresyon, anksiyete) riski artışı (Asadi vd., 2021) • Sağlık davranışlarında zorluk (KK kullanımı vb.) (Taylor vd., 1997) • Travma işlemede yetersizlik (Bakumov vd., 2016)

Tablo 2, duygusal zeka ve aleksitiminin iş kazaları ve meslek hastalıkları üzerindeki etki mekanizmalarını karşılaştırmalı olarak sunmaktadır.

Şekil 1. Sağlık Çalışanlarında Duygusal Faktörler, İş Kazaları ve Meslek Hastalıkları Arasındaki İlişki Modeli



Şekil 1, duygusal zeka ve aleksitiminin, iş stresi ve tükenmişlik aracılığıyla iş kazaları ve meslek hastalıkları üzerindeki etkisini göstermektedir. Model, Edmund vd. (2023), Hidalgo Jurado vd. (2023) ve Samu vd. (2025) çalışmalarından sentezlenmiştir. Şekil 1. Duygusal zeka ve aleksitiminin iş kazaları ve meslek hastalıklarına etkisinin kavramsal modeli. (+) koruyucu etkiyi, (-) risk artırıcı etkiyi göstermektedir.

3. SONUÇ

Mevcut literatür, duygusal zeka ve aleksitiminin sağlık çalışanlarının iş sağlığı ve güvenliği üzerinde önemli etkileri olabileceğine işaret etmektedir (Edmund vd., 2023; Leccese vd., 2023). Ancak, bu alandaki araştırmaların sınırlı sayıda olması ve çoğunlukla kesitsel desende yürütülmesi, nedensel ilişkiler kurmayı zorlaştırmaktadır. Yine de, elde edilen bulgular şu açılardan önemlidir:

- Sağlık çalışanlarının genel popülasyondan duygusal işleyiş açısından büyük farklılıklar göstermemesi, ancak aleksitimi düzeylerinin düşük olması (Zammuner vd., 2014), bu meslek grubunun belirli duygusal beceriler gerektirdiğini ve bu becerilerin mesleki seçimle veya mesleki deneyimle şekillenebileceğini düşündürmektedir.
- Cinsiyet ve yaş farklılıkları, iş sağlığı müdahalelerinin hedef gruplara göre özelleştirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır. Özellikle genç erkek çalışanlar, duygusal destek ve aleksitimi yönetimi açısından öncelikli gruplar olabilir (Zammuner vd., 2014).
- Duygusal zeka ve aleksitiminin, iş kazaları ve meslek hastalıklarına etkisinde iş stresi ve tükenmişliğin aracı rol oynadığı düşünüldüğünde, bu psikososyal faktörlerin yönetimi önem kazanmaktadır (Hidalgo Jurado vd., 2023; Samu vd., 2025).
- Yüksek aleksitimi seviyesine sahip sağlık çalışanlarının tükenmişlik açısından daha yüksek risk altında olduğu bulgusu (Bakumov vd., 2016), bu gruba yönelik önleyici ruh sağlığı hizmetlerinin gerekliliğini vurgulamaktadır.

Bu çalışma; sağlık çalışanlarında duygusal zekâ ve aleksitimi seviyelerinin iş kazası ve meslek

hastalıkları oluşumuna etkisini inceleyen mevcut kanıtları sentezlemiştir. Bulgular, yüksek duygusal zeka ve düşük aleksitimi düzeylerinin, sağlık çalışanlarının işyerindeki duygusal taleplerle başa çıkma kapasitesini artırarak iş kazalarını ve meslek hastalıklarını önlemede koruyucu olabileceğini göstermektedir (Edmund vd., 2023; Hidalgo Jurado vd., 2023). Düşük duygusal zeka ve yüksek aleksitimi ise, artan iş stresi, tükenmişlik, dikkat dağınıklığı ve sağlıksız başa çıkma stratejileri aracılığıyla bu olumsuz sonuçlara zemin hazırlayabilir (Samu vd., 2025; Leccese vd., 2023).

Sağlık kuruluşları, çalışanlarının duygusal sağlığını iyileştirmeye yönelik programlar geliştirmelidir. Bu programlar, duygusal zekayı artırıcı eğitimler, aleksitimi farkındalığını ve yönetimini hedefleyen psikoeğitim çalışmaları, stres yönetimi ve tükenmişliği önleme stratejilerini içermelidir (Goleman, 1995; Taylor vd., 1997). Özellikle genç ve erkek sağlık çalışanlarına yönelik hedefe yönelik müdahaleler önem taşımaktadır (Zammuner vd., 2014).

Gelecekteki çalışmalar için aşağıdakiler önerilir:

- Boylamsal Çalışmalar: Duygusal zeka, aleksitimi ve iş kazası/meslek hastalığı arasındaki nedensel ilişkileri ortaya koymak için boylamsal tasarımlı çalışmalara ihtiyaç vardır (Samu vd., 2025).
- Nesnel Ölçümler: İş kazaları ve meslek hastalıklarının nesnel kayıtlar (hastane kayıtları, iş kazası raporları) kullanılarak ölçüldüğü çalışmalar, öz bildirim yanlılığını azaltacaktır (Lucas vd., 2023).
- Alt Grup Analizleri: Farklı sağlık meslek grupları (hemşire, doktor, acil tıp teknisyeni, laborant) arasında duygusal zeka ve aleksitiminin etkilerini karşılaştıran çalışmalar, mesleğe özgü risk faktörlerini belirlemeye yardımcı olacaktır (Asadi vd., 2021).
- Müdahale Çalışmaları: Duygusal zeka eğitiminin veya aleksitimi yönetim programlarının iş kazaları ve meslek hastalıkları üzerindeki etkinliğini test eden randomize kontrollü çalışmalar, koruyucu stratejilerin geliştirilmesi için kanıt sağlayacaktır (Edmund vd., 2023).
- Aleksitimi ve Duygusal Zeka İlişkisi: Aleksitimi ve duygusal zeka arasındaki ilişki daha derinlemesine incelenmeli, bu iki yapının birbirini nasıl etkilediği ve birlikte iş kazaları/meslek hastalıklarına nasıl katkıda bulunduğu araştırılmalıdır (Leccese vd., 2023).

Örgütsel Faktörler: Çalışmaya, örgütsel destek, iş güvencesi, çalışma saatleri gibi iş ortamına ait faktörlerin duygusal zeka/aleksitimi ile etkileşimi de dahil edilmelidir (Hur vd., 2022).

KAYNAKÇA

Asadi, N., Esmaeilpour, H., Salmani, F., & Salmani, M. (2021). The relationship between death anxiety and alexithymia in emergency medical technicians. OMEGA-Journal of Death and Dying, *85*(4), 772–786.

Bakumov, P. A., Volchanskiy, M. E., Zernyukova, E. A., Grechkina, E. R., & Kovalskaya, E. N. (2016). Characteristics of alexithymia in health professionals. Journal of Volgograd State Medical University, *13*(1), 103–104.

Edmund, N. N. K., Mupfiga, S., & Ike, O. (2023). Emotional intelligence as a conduit for improved occupational health safety environment in the oil and gas sector. Scientific Reports, *13*, Article 18492.

Goleman, D. (1995). Emotional intelligence: Why it can matter more than IQ. Bantam Books.

Hidalgo Jurado, S. A., Jenaro Río, C., & Moro Gutiérrez, L. (2023). Emotional intelligence as a protective factor of burnout and its consequences in Ecuadorian health personnel. Revista de Psicología y Salud, *35*(1), 45–58.

Leccese, A., Difino, M. R., Genzano, N., Limone, P., & Petito, A. (2023). Alexithymia and emotional constructs: Emotional inhibition, emotional intelligence and empathy. Mediterranean Journal of Clinical Psychology, *11*(2), 1–18.
Lucas, R. E. C., Santos, J. L. G., & Oliveira, S. M. (2023). Systemic relations among the variables involved in occupational accidents of the nursing team in a psychiatric hospital. Archives of Psychiatric Nursing, *44*, 76–83.
Mayer, J. D., & Salovey, P. (1997). What is emotional intelligence? In P. Salovey & D. J. Sluyter (Eds.), Emotional development and emotional intelligence: Educational implications (pp. 3–31). Basic Books.
Nemiah, J. C., Freyberger, H., & Sifneos, P. E. (1976). Alexithymia: A view of the psychosomatic process. In O. W. Hill (Ed.), Modern trends in psychosomatic medicine (Vol. 3, pp. 430–439). Butterworths.
Salovey, P., & Mayer, J. D. (1990). Emotional intelligence. Imagination, Cognition and Personality, *9*(3), 185–211.
Samu, J., Yang, C., & Winter, S. R. (2025). Assessing the role of emotional intelligence in risk behavior across safety critical environments: A systematic review. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, *109*, 124–142.
Sifneos, P. E. (1973). The prevalence of 'alexithymic' characteristics in psychosomatic patients. Psychotherapy and Psychosomatics, *22*(2), 255–262.
Taylor, G. J., Bagby, R. M., & Parker, J. D. A. (1997). Disorders of affect regulation: Alexithymia in medical and psychiatric illness. Cambridge University Press.
Hur, G., Cinar, N., & Suzan, O. K. (2022). Impact of COVID-19 pandemic on nurses' burnout and related factors: A rapid systematic review. Archives of Psychiatric Nursing, 41, 248-263.
Zammuner, V., Verzeletti, C., & Favaro, T. (2014). Patterns of emotional functioning and well-being in health care workers. Giornale di Psicologia dello Sviluppo, *8*(2), 45–62.

BAKIM SİGORTASININ TÜRKİYE İÇİN ÖNEMİ VE UYGULANABİLİRLİĞİ: KARŞILAŞTIRMALI BİR DEĞERLENDİRME

Furkan ULUSAL
Öğr. Gör. Dr., Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü

ÖZET
Bu çalışma, hızla yaşlanan nüfus yapısı karşısında uzun süreli bakım finansmanının Türkiye için taşıdığı önemi ve bir bakım sigortası modelinin uygulanabilirliğini karşılaştırmalı bir çerçevede ele almaktadır. Araştırma; ilgili ulusal ve uluslararası literatürün, resmî politika belgelerinin ve güncel demografik istatistiklerin sistematik bir şekilde taranıp sentezlendiği bir derleme çalışmasıdır. 65 yaş ve üzeri nüfusun ve yaşlı bağımlılık oranının yükselmesi, geleneksel olarak kadınların karşılıksız emeğine dayanan aile temelli bakımın kentleşme, kadın istihdamı ve hane yapısındaki dönüşümlerle daralan kapasitesiyle çakışmakta, bu durum bakım yükünün toplumsallaştırılmasını bir tercih olmaktan çıkarıp zorunluluğa dönüştürmektedir. Çalışmada Türkiye'deki mevcut yardım temelli ve dağınık bakım yapısı erişilebilirlik, kalite ve mali sürdürülebilirlik eksenlerinde değerlendirilmiş, sistemin muhtaçlık esasına ve yıllık genel bütçeye bağlılığından kaynaklanan yapısal açıklar ortaya konmuştur. Almanya, Japonya, Hollanda ve Güney Kore deneyimleri karşılaştırmalı olarak incelenerek bu sistemlerin ortak çekirdeği; bakım riskini geniş bir tabana yayan, sağlık sigortasından ayrı ve hakka dayalı bir güvence kurmak biçiminde belirlenmiştir. Elde edilen bulgular ışığında Türkiye için, kamusal ve zorunlu bir sosyal sigorta çekirdeğini ülkenin kayıt dışı istihdam yapısına, güçlü aile bakımı geleneğine ve kurumsal kapasite kısıtlarına uyarlayan; tahsis edilmiş bir bakım fonu, standartlaştırılmış bir bağımlılık değerlendirmesi ve ev temelli hizmet önceliği ile desteklenen karma bir model önerilmektedir. Çalışma, bakım sigortasının Türkiye için bir sosyal politika seçeneği olmanın ötesinde, demografik baskı zirveye ulaşmadan hayata geçirilmesi gereken yapısal bir zorunluluk olduğu sonucuna ulaşmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Bakım sigortası, uzun süreli bakım, nüfusun yaşlanması, sosyal güvenlik.

THE IMPORTANCE AND FEASIBILITY OF LONG-TERM CARE INSURANCE FOR TÜRKİYE: A COMPARATIVE EVALUATION

ABSTRACT
This study examines the significance of long-term care financing for Türkiye in the face of a rapidly aging population structure and explores the feasibility of a care insurance model within a comparative framework. The research is a review study based on a systematic survey and synthesis of relevant national and international literature, official policy documents, and current demographic statistics. The rise in the population aged 65 and over, along with increasing old-age dependency ratios, coincides with the shrinking capacity of family-based care—traditionally reliant on the unpaid labor of women—due to urbanization, female employment, and transformations in household structures. Consequently, the socialization of the care burden has transitioned from a preference to a necessity. The study evaluates Türkiye's current assistance-based and fragmented care structure in terms of accessibility, quality, and financial sustainability, revealing structural deficits stemming from the system's reliance on means-testing and annual general budgets. By comparatively analyzing the experiences of Germany, Japan, the Netherlands, and South Korea, the core commonality of these systems is identified as establishing an entitlement-based guarantee, separate from health insurance, that spreads the

risk of care across a broad base. In light of the findings, a hybrid model is proposed for Türkiye; one that adapts a public and compulsory social insurance core to the country's informal employment structure, strong tradition of family care, and institutional capacity constraints. This model is supported by a dedicated care fund, standardized dependency assessments, and a priority on home-based services. The study concludes that care insurance is more than a social policy option for Türkiye; it is a structural imperative that must be implemented before demographic pressures reach their peak.
Keywords: Care insurance, long-term care, population ageing, social security.

1. GİRİŞ

Bakım sigortası (uzun süreli bakım sigortası); ileri yaş, kronik hastalık veya engellilik nedeniyle günlük yaşam etkinliklerini bağımsız biçimde sürdürme yetisini yitiren bireylerin gereksinim duyduğu bakım hizmetlerinin finansmanını, riskin toplumsallaştırılması ilkesi temelinde güvence altına alan bir sosyal koruma aracıdır. Akut tıbbi tedaviyi konu edinen sağlık sigortasından ayrışan bu mekanizma; banyo yapma, giyinme, beslenme ve hareket gibi temel işlevlerde sürekli desteğe muhtaç duruma gelen kişilere yönelik kurumsal, toplum temelli ve evde bakım hizmetlerini kapsamına alır (Colombo vd., 2011). Nüfusun yaşlanması, bu güvenceyi küresel bir politika önceliğine dönüştürmüştür. OECD ülkelerinde 65 yaş ve üzeri nüfusun payı 1960'ta yüzde 9'un altındayken 2021 itibarıyla yüzde 18'e ulaşmış, 2050 için yüzde 27 düzeyine çıkması beklenmektedir. Bu dönüşüm karşısında birçok ülke bakım finansmanını kalıcı bir kurumsal çatıya kavuşturma yoluna gitmiştir. Almanya 1995'te zorunlu bakım sigortasını sosyal güvenlik sisteminin ayrı bir kolu olarak kurmuş, Japonya 2000'de kamusal bakım sigortasını yürürlüğe koymuş, Güney Kore ise 2008'de benzer bir modeli hayata geçirmiştir. Aileye dayalı enformel bakımın giderek zayıfladığı koşullarda kamusal ve zorunlu sosyal sigorta modelinin en sürdürülebilir çözümü sunduğuna dikkat çekilmektedir (Feng ve Glinskaya, 2019). Nitekim literatür, son kırk yılda hızla genişlemiş, yapılan çalışmaların ağırlıklı olarak gerontoloji alanında ve Japonya merkezli olarak yoğunlaştığı görülmüştür (Çalışır, 2024).

Türkiye bu küresel demografik dönüşümü hızlanan bir tempoyla deneyimlemektedir. 65 yaş ve üzeri nüfus 2019'da 7,55 milyon iken 2025'te 9,58 milyona ulaşmış, beş yılda yaklaşık yüzde 21 artarak toplam nüfus içindeki payı yüzde 9,1'den yüzde 11,1'e yükselmiştir. Türkiye İstatistik Kurumu'nun verilerine göre bu oranın 2040'ta yüzde 17,9'a, 2060'ta yüzde 27'ye çıkması; çalışma çağındaki her yüz kişiye düşen yaşlı sayısını gösteren yaşlı bağımlılık oranının ise 2024'teki yüzde 15,5 düzeyinden 2060'ta yüzde 45,5'e yükselmesi öngörülmektedir (TÜİK, 2025). Doğuşta beklenen yaşam süresinin uzaması bu tabloyu derinleştirmekte, ileri yaş gruplarında görme, işitme, yürüme ve bilişsel işlevlerde zorluk yaşayan bireylerin belirgin bir orana ulaşması bakıma bağımlılığı artırmaktadır. Bakım gereksinimindeki bu tırmanış, geleneksel olarak aile içinde ve büyük ölçüde kadınların karşılıksız emeğiyle sürdürülen enformel bakımın daralan kapasitesiyle çakışmaktadır. Kadın istihdamının yükselmesi, hane büyüklüğünün küçülmesi ve kentleşme, aileye dayalı bakım modelinin sürdürülebilirliğini aşındırmakta; böylece bakım yükünün toplumsallaştırılması bir tercih olmaktan çıkıp zorunluluğa dönüşmektedir (Ağören, 2017; Ayhan, 2014; Kocabaş ve Kol, 2020).

Bu çalışma, söz konusu demografik ve toplumsal baskıların Türkiye'de bakım finansmanını yakıcı bir politika sorununa dönüştürdüğü bir dönemde kaleme alınmıştır. Uzun süreli bakım sigortası son yıllarda resmi politika belgelerinde de yer bulmuş, 2024-2026 dönemini kapsayan Orta Vadeli Program'da sistemin devreye alınmasına ilişkin hedefler açıkça ifade edilmiştir (T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, 2023). Buna karşın ülkemizde yürürlükteki 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu kapsamındaki

sigorta kolları arasında bir bakım sigortası bulunmamakta, konuya ilişkin ulusal çerçeve ise henüz oturmamıştır (Kocabaş ve Kol, 2020). Türkiye'nin bir uzun süreli bakım sigortası modeline gereksinim duyduğu literatürde güçlü biçimde vurgulanmakla birlikte, uygulamaya neden geçilemediği yeterince irdelenmemiştir (Kara, 2025). Çalışmanın amacı, bakım sigortasının Türkiye için taşıdığı önemi bütüncül bir çerçevede ortaya koymak ve alandaki dağınık bilgiyi eleştirel bir bakışla bir araya getirmektir. Bu doğrultuda şu sorulara yanıt aranacaktır. Bakım sigortası kavramsal ve kurumsal olarak neyi ifade etmekte, uluslararası uygulamalarda hangi finansman modelleriyle hayata geçirilmektedir? Türkiye'nin demografik ve sosyoekonomik koşulları bu güvenceyi neden zorunlu kılmaktadır? Ülke bağlamında bir bakım sigortası modelinin tasarlanmasında hangi olanaklar ve kısıtlar öne çıkmaktadır?

2. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

2.1. Kavramsal Çerçeve

2.1.1. Bakım, Uzun Dönemli Bakım ve Bakım Sigortası

Bakım en yalın anlamıyla, günlük yaşam gereksinimlerini kendi başına karşılayamayan bireylere sunulan destektir. Literatür bu desteği iki temel kategoride açıklamaktadır. Aile üyeleri ya da yakınlar tarafından karşılık beklenmeksizin verilen enformel bakım ve ücret karşılığında eğitimli personelce sağlanan formel bakım (Colombo vd., 2011). Bu ayrım salt bir sınıflandırma sorunu değildir. Enformel bakımın görünmez ve karşılıksız emeğe dayanması, bakımın toplumsal maliyetini kamusal muhasebenin dışına iterek ilerleyen bölümlerde ele alınacak politika tartışmasının da zeminini oluşturmaktadır.

Uzun dönemli bakım, fiziksel veya bilişsel işlev kaybı nedeniyle uzun bir zaman dilimi boyunca sürekli desteğe gereksinim duyan bireylere yönelik sağlık ve sosyal hizmetlerin bütününü ifade eder (Dünya Sağlık Örgütü, 2015). Bu hizmeti akut sağlık bakımından ayıran ölçüt, iyileşmeyi değil işlevselliğin ve insan onurunun sürdürülmesini amaçlaması ve belirsiz bir süreye yayılmasıdır. Bireyin bakıma bağımlılık düzeyi uluslararası uygulamada iki ölçek üzerinden değerlendirilmektedir. Katz ve arkadaşlarının 1960'larda geliştirdiği günlük yaşam etkinlikleri (ADL) ölçeği; banyo yapma, giyinme, beslenme, tuvalet kullanımı, yer değiştirme ve boşaltım denetimi gibi temel öz bakım işlevlerini kapsar (Katz vd., 1963). Lawton ve Brody'nin araçsal günlük yaşam etkinlikleri (IADL) ölçeği ise yemek hazırlama, ilaç ve para yönetimi, alışveriş ve ulaşım gibi bağımsız yaşamı olanaklı kılan daha karmaşık işlevleri ölçer (Lawton ve Brody, 1969). Bireyin bu işlevlerin birkaçını tek başına yerine getirememesi, pek çok sistemde bakım hizmetlerine ya da sigorta güvencesine hak kazanmanın eşiği olarak kullanılır. Birçok düzenlemede en az iki temel etkinlikte kalıcı desteğe muhtaçlık, formel bakıma geçişin somut göstergesi sayılır. Türkçe literatürde de bakıma muhtaçlığın belirlenmesinde ADL ölçeğinin yanında AEDL (Krohwinkel), Gordon ve NANDA gibi çok boyutlu değerlendirme modellerinin kullanıldığı aktarılmaktadır (Ağören, 2017).

Bakım sigortası, uzun dönemli bakımdan doğan finansal riskin bireyler arasında ve yaşam döngüsü boyunca yayılarak paylaşıldığı bir güvence düzeneğidir. Akut tedaviyi konu edinen sağlık sigortasından ayrılan bu mekanizmada güvence, bir hastalık tanısıyla değil, tanımlı bir işlevsel bağımlılık düzeyine ulaşılmasıyla devreye girer. Uygulamada bağımlılık genellikle derecelendirilerek (bakım kademeleri) yardım miktarı bu derecelere bağlanır. Sağlanan güvence ayni (hizmetin doğrudan sunulması) veya nakdi (bakımı üstlenen kişiye yapılan ödeme) biçiminde tasarlanabilir. Almanya örneğinde olduğu gibi aileye yapılan nakdi ödemeler, enformel bakımı görünür kılıp ödüllendiren bir araç işlevi görür (Colombo vd., 2011). Bakıma muhtaçlık, hastalık ve yaşlılıktan ayrışan bağımsız bir sosyal risk olarak tanımlandığında, bu riske karşı sosyal güvence sağlanması bir sosyal devlet gereği olarak öne çıkar (Hekimler, 2017; Ağören, 2017).

2.1.2. Bakımın Kapsamı ve Türleri

Uzun dönemli bakım, sunulduğu ortama göre çeşitlenen bir hizmet yelpazesini içerir. Evde bakım, bireyin kendi konutunda kalarak öz bakım ve ev içi desteği almasını sağlar. Özerkliği ve toplumsal bağları koruması nedeniyle çoğu ülkede önceliklendirilen ve maliyet açısından da tercih edilen modeldir. Kurum bakımı ya da yatılı bakım, sürekli ve yoğun desteğe gereksinim duyan, ileri düzeyde bağımlı bireylere huzurevi ve bakımevi gibi kurumlarda kesintisiz hizmet sunar. Bu iki uç arasında konumlanan toplum temelli hizmetler ise ara çözümler sunar. Gündüz bakım merkezleri bireyin geceyi evinde geçirmesine olanak tanırken gündüz süpervizyon ve sosyal etkileşim sağlar. Aralıklı (dinlendirici) bakım ise asıl yükü taşıyan aile bakıcısına geçici bir soluklanma imkânı vererek enformel bakımın sürdürülebilirliğini destekler. Bu ortamlar arasındaki geçişkenlik, uzun dönemli bakımı statik bir hizmetten çok, bireyin değişen bağımlılık düzeyine göre yeniden düzenlenen bir süreklilik olarak kavramayı gerektirir.

2.1.3. Finansman Modelleri

Bakım hizmetlerinin nasıl finanse edileceği, bakım sisteminin kapsayıcılığını ve sürdürülebilirliğini belirleyen asıl politika tercihidir. Karşılaştırmalı literatür, ülke uygulamalarını başlıca üç temel modelde toplamaktadır (Colombo vd., 2011). Türkçe literatür de bu yapıları primli (sosyal sigorta), primsiz (vergi temelli) ve ikisinin bileşiminden oluşan karma model biçiminde sınıflandırmaktadır (Ağören, 2017; Kocabaş ve Kol, 2020).

Sosyal sigorta modeli, zorunlu prim esasına dayanır. Çalışan, işveren ve devlet katkılarıyla oluşturulan ayrılmış bir fon üzerinden hakka dayalı ve büyük ölçüde evrensel bir güvence sunar. Almanya'nın 1995'te sosyal güvenlik sisteminin ayrı bir kolu olarak kurduğu bakım sigortası, Japonya'nın 2000'de ve Güney Kore'nin 2008'de yürürlüğe koyduğu sistemler bu modelin öncü örnekleridir. Aile temelli bakımın zayıfladığı yaşlanan toplumlar için bu kamusal ve zorunlu yapıyı en sürdürülebilir seçenek olarak öne çıkarmaktadır (Feng ve Glinskaya, 2019).

Vergi temelli model, hizmetleri genel bütçe gelirlerinden karşılar ve yurttaşlık esasına dayalı erişim sağlar. İskandinav ülkelerinde belirginleşen bu yaklaşımda bakım, bir sosyal hak olarak devletçe güvence altına alınır ancak finansmanın konjonktürel bütçe önceliklerine bağımlı kalması, sistemin kırılganlığını artırabilir. Özel sigorta modeli ise gönüllü katılıma ve piyasa dinamiklerine dayanmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'nde 1970'lerden itibaren gelişen özel uzun dönemli bakım sigortası bu modelin başlıca örneğidir. Bu yaklaşım ters seçilim, düşük katılım oranı ve dar gelirli kesimlerce erişilemeyecek prim düzeyleri gibi yapısal sorunlar barındırdığından, tek başına toplumsal bir güvence sağlamaktan uzak kalmaktadır (Colombo vd., 2011).

Uygulamada saf biçimiyle işleyen model neredeyse yoktur. Çoğu ülke, devlet destekli hibrit yapılar geliştirmiştir. Bu karma modeller, kamusal bir sosyal sigorta ya da vergi tabanını çekirdeğe yerleştirip bunu tamamlayıcı özel sigortalar, katkı payları ve vergi teşvikleriyle bütünler. Bu yapılara sıklıkla, düşük gelirli ve güvencesiz bireyleri korumaya yönelik gereksinim testine dayalı bir sosyal yardım katmanı eşlik eder. Nitekim bakım finansmanı alanında yapılan çalışmalar, işgücü maliyetlerini aşırı yükseltmeden riski geniş bir havuzda paylaştıran, devlet-işveren-birey katkılarını birlikte içeren karma yapıların mali açıdan daha dayanıklı olduğuna işaret etmektedir (Barber vd., 2021). Türkiye için önerilen model tartışmaları da büyük ölçüde bu karma çerçeve içinde yürümektedir (Ağören, 2017; Ayhan, 2014; Yasım, 2026).

2.2. Türkiye'de Mevcut Durum

2.2.1. Mevcut Bakım Hizmetleri

Türkiye'de uzun dönemli bakımın temel taşı, kurumsal bir sistemden çok ailedir. Bakıma muhtaç yaşlı ve engelli bireylerin büyük çoğunluğu, ağırlıklı olarak kadın aile üyelerinin karşılıksız emeğiyle kendi hanelerinde bakılmaktadır. Devletin rolü ise bu enformel bakımı

desteklemek ve ancak aile kapasitesinin tükendiği durumlarda kurumsal seçenekler sunmakla sınırlıdır (Kocabaş ve Kol, 2020). Bu yaklaşımın en görünür aracı, 2828 sayılı Sosyal Hizmetler Kanunu'nun ek 7. maddesine dayanan ve 2005'ten bu yana yürütülen evde bakım yardımıdır. Söz konusu yardım, ağır engelli veya tam bağımlı sağlık kurulu raporuna sahip bireye evinde bakan yakınına ödenen aylık bir nakdi destektir. Miktarı, on bin gösterge rakamının memur aylık katsayısıyla çarpımına bağlanmıştır (T.C., 1983; Ağören, 2017). Resmi verilere göre bu kapsamda 60 yaş ve üzeri yüz binin üzerinde yaşlıya nakdi destek sağlanmaktadır (Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı [ASHB], 2023).

Aile bakımının mümkün olmadığı durumlar için sunulan kurumsal bakım, huzurevleri ile yaşlı bakım ve rehabilitasyon merkezlerinde toplanır. Bu merkezler Bakanlığa bağlı, özel veya diğer kamu kurumlarına ait olabilir. Şubat 2022 itibarıyla ülke genelinde toplam 452 huzurevinde yaklaşık 26 bin yaşlının bakımı sürdürülmekteydi (ASHB, 2022). Kurum bakımının yanında, aile yanında yaşayan sağlıklı yaşlılara yönelik gündüz yaşlı yaşam merkezleri toplum temelli bir ara çözüm sunmakla birlikte, yalnızca birkaç ilde ve çok sınırlı bir kapasiteyle işlemektedir. Bu tabloyu, Sağlık Bakanlığı'nın yürüttüğü evde sağlık hizmetleri tamamlamakta; hekim, yaşlı bakım teknikeri ve yardımcı sağlık personelinden oluşan ekiplerce sunulan bu hizmet, yara bakımı ve enjeksiyon gibi tıbbi gereksinimleri evde karşılamaya odaklanmaktadır (ASHB, 2015). Yerel düzeyde ise belediyeler, 2016'da başlatılan Yaşlı Destek Programı (YADES) gibi genel bütçeden aktarılan kaynaklarla desteklenen projeler aracılığıyla evde temizlik, kişisel bakım ve uzaktan izleme gibi hizmetler sağlamaktadır (ASHB, 2023).

2.2.2. Finansman Kaynakları

Türkiye'deki bakım hizmetlerinin finansmanı, riski önceden havuzda toplayan bir sigorta mantığından çok, ihtiyaç anında devreye giren bir sosyal yardım mantığına dayanmaktadır. Evde bakım yardımı, kurum bakımı ödemeleri ve 2022 sayılı Kanun kapsamındaki yaşlı ve engelli aylıklarının tümü, ayrılmış bir fondan değil, doğrudan genel bütçeden ve Bakanlık ödeneklerinden karşılanmaktadır. Bu desteklerden yararlanma, gereksinim testine bağlıdır. Hane içinde kişi başına düşen aylık gelirin, net asgari ücretin üçte ikisinin altında kalması koşulu aranır ve muhtaçlık değerlendirmesi Sosyal Yardımlaşma ve Dayanışma Vakıfları eliyle yürütülür (T.C., 1983). Bu eşiğin dışında kalan kesimler için bakım, büyük ölçüde hane halkının kendi cebinden karşıladığı bir harcama kalemine dönüşmektedir. Özel huzurevi ücretleri ve piyasadan temin edilen özel bakıcı giderleri bu doğrudan ödemelerin başlıca örnekleridir. Belediye bütçeleri ise yerel hizmetlerin ek bir finansman katmanını oluşturur. Genel Sağlık Sigortası, akut tedavi masraflarını güvence altına almakla birlikte, uzun dönemli bakımın sosyal ve gündelik yaşam desteği boyutunu kapsam dışında bırakır. Sonuçta ülkede, Almanya ve Japonya gibi örneklerdeki zorunlu prime dayalı ayrı bir uzun dönemli bakım fonu bulunmamakta; risk, sisteme değil büyük ölçüde ailelere yüklenmektedir (Feng ve Glinskaya, 2019; Yasım, 2026).

2.2.3. Sistemdeki Boşluklar

Mevcut yapı, üç temel eksende belirgin açıklar taşımaktadır. Bunların ilki erişilebilirliktir. Desteklerin gereksinim testine ve ağır engellilik ölçütüne bağlanması, sistemi dar gelirli ve ileri düzeyde bağımlı bir kesimle sınırlamaktadır. Orta gelirli ve orta düzeyde bakıma muhtaç geniş bir grup, resmi güvencenin kapsama alanı ile piyasanın erişilebilirlik sınırı arasında sıkışıp kalmaktadır. Gündüz bakımı ve toplum temelli hizmetlerin dar kapasitesi ve bölgeler arası dengesiz dağılımı bu erişim sorununu derinleştirmektedir. Nitekim mevcut evde bakım yardımı, bir tür sosyal yardım ödemesi gibi işlemekte ve yalnızca ekonomik yoksunluk içindeki ağır engellileri kapsayarak ihtiyaç duyan geniş bir kesimi dışarıda bırakmaktadır (Ağören, 2017).

İkinci eksen kalitedir. Bakım hizmetleri, Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı, Sağlık Bakanlığı ve yerel yönetimler arasında bölünmüş; koordinasyonun ve tek elden yürütülen standart bir

bağımlılık değerlendirmesinin eksikliği, hizmette parçalılığa yol açmıştır. Bakımın büyük bölümünün eğitimsiz aile üyelerince üstlenilmesi bakım kalitesini belirsizleştirdiği gibi, bakım verenlerin çoğunlukla kadın olması nedeniyle toplumsal cinsiyet temelli bir yükü de görünmez kılmaktadır. Nakdi yardım modelinin, hizmet kalitesini denetleyecek bir profesyonel çerçeveden yoksun oluşu bu sorunu pekiştirmektedir (Ağören, 2017; Kara, 2025).

Üçüncü ve belki de en kritik eksen mali sürdürülebilirliktir. Finansmanın yıllık genel bütçeye bağımlı olması, sistemi konjonktürel bütçe önceliklerine ve enflasyona karşı kırılgan kılmakta, sabit gösterge esasına dayanan nakdi yardımların reel değeri, yüksek enflasyon dönemlerinde hızla aşınmaktadır. Nüfus projeksiyonlarının işaret ettiği yaşlı bağımlılık oranındaki keskin artış karşısında (TÜİK, 2025), riski geniş bir tabana yayan bir finansman düzeneğinin yokluğu, mevcut modelin orta ve uzun vadede sürdürülemeyeceğine dair güçlü bir uyarıdır. Bu üç boşluk birlikte değerlendirildiğinde, Türkiye'nin bakım sistemini yardım temelli ve dağınık bir yapıdan, hakka dayalı ve kurumsallaşmış bir güvenceye taşıma gereksinimi belirginleşmektedir (Ayhan, 2014; Kara, 2025).

2.3. Uluslararası Ülke Örnekleri

Uzun dönemli bakımı yardım temelli bir yaklaşımdan çıkarıp kurumsal bir güvenceye dönüştürmüş ülkelerin deneyimi, Türkiye için tasarım seçeneklerini ve olası tuzakları görünür kılar. Bu alanda öncü kabul edilen dört ülke sistemi aşağıda kronolojik sırayla değerlendirilmiştir (Yasım, 2026).

Hollanda; 1968'de yürürlüğe giren AWBZ ile uzun dönemli bakımı zorunlu bir sosyal sigorta kapsamına alan ilk ülke olmuştur ve OECD içinde bu alana en yüksek payı ayıran sistemlerden birine dönüşmüştür. Bakım harcamaları 2021'de gayrisafi yurt içi hasılanın yaklaşık yüzde 4'üne ulaşmıştır. Kapsamının genişliği ve maliyeti, 2015'te köklü bir reformu beraberinde getirmiştir. 1 Ocak 2015 itibarıyla AWBZ kaldırılarak yerini Uzun Dönemli Bakım Yasası'na (Wlz) bırakmış, hizmetlerin bir bölümü Sağlık Sigortası Yasası'na (Zvw) ve belediyelerce yürütülen yenilenmiş Sosyal Destek Yasası'na (Wmo) devredilmiştir. En ağır ve sürekli gözetim gerektiren bakımı merkezi yönetimin sorumluluğunda bırakan bu yapı, hak sahiplerine ayni hizmet ile kişisel bütçe arasında seçim tanımaktadır (Maarse ve Jeurissen, 2016). Hollanda örneği, kapsayıcı bir güvencenin mali sürdürülebilirlikle nasıl bir gerilim içine girebileceğini gösteren öğretici bir modeldir.

Almanya; 1995'te Sosyal Kanun'un XI. kitabıyla kurulan bakım sigortası (Pflegeversicherung), sağlık, iş kazası, emeklilik ve işsizlik sigortalarının ardından sosyal güvenliğin “beşinci sütunu” olarak tanımlanır. Bismarck geleneğine dayanan sistem, işçi ve işverenin paylaştığı zorunlu primlerle finanse edilir. 2025 Ocak itibarıyla katkı oranı çalışanın gelirinin yüzde 3,6'sı düzeyindedir. Bağımlılık beş bakım kademesine (Pflegegrade) göre derecelendirilir ve hak sahibi, ayni hizmet ile aileye bakan yakınına ödenen nakdi ödenek (Pflegegeld) arasında seçim yapabilir. Haftada en az on saat bakım veren aile üyelerine emeklilik primi katkısı sağlanır. Ayrıca yıllık dinlendirici bakım desteği tanınır. Bununla birlikte sistem, maliyetin tamamını değil bir bölümünü karşılayan “kısmi güvence” ilkesine dayanır. Bu tasarım primleri istikrarlı tutarken bakım masraflarının bir kısmını hane halkının üzerinde bırakır (Nadash vd., 2018). Türkçe literatürde Almanya modeli, bakıma muhtaçlığı bağımsız bir sosyal risk olarak tanımlayan ve toplumun yaklaşık yüzde 90'ını kapsayan başarılı bir örnek olarak ayrıntılı biçimde incelenmiş, nakdi ödemenin aile bakımını meşrulaştırıp destekleyen bir araç olarak nasıl kurgulanabileceği vurgulanmıştır (Hekimler, 2015, 2017; Kocabaş ve Kol, 2020).

Japonya; hızlı yaşlanma ve geleneksel aile bakımının zayıflaması karşısında 2000'de, bakımın toplumsallaştırılması hedefiyle “Kaigo Hoken” sistemini kurdu. Kırk yaş ve üzeri herkesin katılımının zorunlu olduğu sistemin bütçesinin yaklaşık yarısı primlerden, yarısı vergilerden sağlanmakta, belediyeler sigortacı konumunda bulunmaktadır (Campbell vd., 2010). Altmış beş

yaş üzeri bireyler nedenine bakılmaksızın, 40-64 yaş grubundakiler ise yaşa bağlı belirli hastalıklar nedeniyle bakıma muhtaç hâle geldiğinde, günlük yaşam etkinlikleri üzerinden yürütülen bir değerlendirmeyle bakım kademelerine yerleştirilir. Almanya'dan farklı olarak sistem ağırlıklı olarak ayni hizmet sunar ve kullanıcıdan hizmet maliyetinin yüzde 10'u (yüksek gelirlilerde yüzde 20 ya da 30) oranında katkı payı alınır. Japonya, artan maliyet ve işgücü kıtlığı karşısında katkı paylarını ve uygunluk ölçütlerini defalarca gözden geçirmek zorunda kalmıştır. Ülkenin toplum temelli evde bakım deneyimi, Türkiye'ye yönelik çıkarımlar açısından da incelenmiştir (Özkan ve Aca, 2021). Bu uyarlanabilirlik, uzun ömürlü bir bakım sigortasının süreklilik için nasıl esnek tutulması gerektiğini örneklemektedir.

Güney Kore; nüfusunun yalnızca yüzde 7 dolayı yaşlıyken, 2008'de öngörülü bir adımla zorunlu bakım sigortasını yürürlüğe koymuştur. Sistem, tek kamu sigortacısı olan Ulusal Sağlık Sigortası Kurumu (NHIS) tarafından yönetilmektedir. Sağlık sigortası primi ödeyen herkes eşzamanlı olarak bakım sigortasına da katkı verir ve bakım primi, sağlık sigortası priminin sabit bir yüzdesi olarak belirlenir. Altmış beş yaş üzeri bireyler ile yaşa bağlı hastalığı bulunan daha genç kişiler, günlük yaşam etkinliklerinde en az altı aydır süregelen zorluk temelinde hak sahibi olur. Daha önceki vergi tabanlı ve gereksinim testine dayalı programdan evrensel bir katkı modeline geçen ülke, mevcut sağlık sigortası altyapısını kullanarak sistemi hızla hayata geçirmiştir (Rhee vd., 2015). Kapsanan yaşlı oranı 2008'de yüzde 3,1 iken 2021'de yüzde 10,1'e çıkmıştır. Bu durum, derin yaşlanma yaşanmadan önce harekete geçmenin ve mevcut kurumsal altyapıdan yararlanmanın değerini ortaya koymaktadır.

Bu dört örnek, tasarım farklarına karşın ortak bir çekirdeği paylaşır. Uzun dönemli bakımı; sağlık sigortasından ayrı, riski geniş bir tabana yayan ve gereksinim değerlendirmesine dayalı bir güvence olarak kurmak. Türkiye açısından öne çıkan dersler; bakım riskinin ailelere değil topluma yayılması, mevcut sosyal güvenlik altyapısının (SGK) bir tahsilat ve yönetim zemini olarak değerlendirilebilmesi, ayni ve nakdi destek arasındaki dengenin ülkenin güçlü aile bakımı geleneği gözetilerek kurulması ve sistemin baştan mali sürdürülebilirlik ile işgücü kapasitesi düşünülerek tasarlanmasıdır (Yasım, 2026; Kocabaş ve Kol, 2020). Güney Kore'nin gösterdiği gibi, bu adımın demografik baskı zirveye ulaşmadan atılması dönüşümün maliyetini de hafifletecektir.

2.4. Bakım Sigortasının Potansiyel Faydaları ve Zorlukları

2.4.1. Potansiyel Faydalar

Bakım sigortasının en temel katkısı, uzun dönemli bakımdan doğan ve çoğu zaman yıkıcı boyutlara ulaşan finansal riski bireyin ve ailenin sırtından alıp geniş bir havuzda paylaştırmasıdır. Bu risk paylaşımı, bakım masrafının bir aileyi yoksullaştırma ihtimalini düşürür ve gelir düzeyinden bağımsız, öngörülebilir bir güvence sağlar (Colombo vd., 2011). Bununla bağlantılı ikinci kazanım, sistemin niteliğindeki dönüşümdür. Gereksinim testine ve muhtaçlığa dayalı bir yardım anlayışından, katkı esasına dayanan hakka dayalı bir güvenceye geçiş, mevcut yapıda resmi kapsam ile piyasa arasında sıkışan orta gelirli kesimi de sisteme dahil ederek eşitliği güçlendirir (Feng ve Glinskaya, 2019). Nitekim Türkiye'de büyükşehirlerde çalışan nüfus üzerinde yürütülen bir araştırma, katılımcıların büyük çoğunluğunun devlet destekli bir bakım sigortasına katılmaya ve belirli bir prim ödemeye istekli olduğunu ortaya koymaktadır (Orhaner ve Doğuç, 2016).

Üçüncü fayda, bakım yükünün toplumsallaşmasıdır. Türkiye'de bakımın büyük ölçüde kadınların karşılıksız emeğine dayandığı düşünüldüğünde, profesyonel bakım hizmetlerini erişilebilir kılan bir sigorta, kadınların işgücüne katılımının önündeki engellerden birini kaldırma potansiyeli taşır. Japonya'nın bakımı "toplumsallaştırma" hedefiyle kurduğu sistem bu mantığın somut örneğidir (Campbell vd., 2010). Dördüncü olarak bakım sigortası, dağınık ve enformel bir alanı düzenli bir bakım ekonomisine dönüştürür. Standart bir bağımlılık

değerlendirmesi, hizmet akreditasyonu ve denetim mekanizmalarıyla bakım kalitesini yükseltirken, eğitimli personel istihdamını artırarak yeni ve nitelikli iş alanları oluşturur (Nadash vd., 2018). Nihayet, ev ve toplum temelli hizmetleri finanse eden bir tasarım, bireyin kendi sosyal çevresinden kopmadan yaşamını sürdürmesini, yani onurlu bir yerinde yaşlanmayı olanaklı kılar.

2.4.2. Zorluklar

Bu kazanımların karşısında, en başta mali sürdürülebilirlik sorunu durur. Yaşlı nüfusun ve bağımlılık oranının hızla artacağı bir ortamda (TÜİK, 2025) bakım harcamaları kaçınılmaz olarak yükselecek, OECD ülkelerinde uzun dönemli bakım harcamalarının 2050'ye dek belirgin biçimde artacağına dair projeksiyonlar bu baskının evrenselliğini gösterir (OECD, 2023). Japonya'nın giderlerinin gelirini aşması ve Hollanda'nın 2015 reformunu doğrudan sürdürülebilirlik kaygısıyla yapması, en köklü sistemlerin bile bu gerilimi sürekli yönetmek zorunda kaldığını ortaya koyar (Maarse ve Jeurissen, 2016). Küçülen çalışma çağı nüfusunun artan bir bakım yükünü finanse etmesi gereken bir denklemde, prim oranlarının ve katkı paylarının siyaseten sürdürülebilir bir düzeyde tutulması başlı başına bir güçlüktür.

Türkiye'ye özgü ikinci ve belki de en kritik zorluk, katkı esasına dayalı bir modelin prim tabanının darlığıdır. İşgücünün yaklaşık dörtte birinin kayıt dışı çalıştığı bir yapıda (2024 sonu itibarıyla yüzde 27 dolayında), zorunlu prime dayalı bir sigortanın nüfusun geniş bir kesimini kapsam dışında bırakma ve gelir tabanını zayıf tutma riski yüksektir (Sosyal Güvenlik Kurumu [SGK], 2024). Almanya deneyimini inceleyen çalışmalar da Türkiye'de yaşlı, engelli ve çocuk bakımının büyük ölçüde kayıt dışı biçimde, çoğu zaman kadınlar ve çalışma izni bulunmayan yabancılar eliyle yürütüldüğüne dikkat çekmektedir (Hekimler, 2017). Buna, sistemin işleyişi için gereken nitelikli bakım işgücünün yetersizliği de eklenir. Ücret, kariyer ve çalışma koşulları iyileştirilmediğinde, uluslararası örneklerde görüldüğü gibi personel kıtlığı hizmet sunumunda darboğaza dönüşür (Campbell vd., 2010). Üçüncü olarak Türkiye, bu alanda kurumsal deneyimden yoksundur. Bakım hizmetlerinin farklı kurumlar arasında bölünmüş yapısı, standart bir değerlendirme sisteminin bulunmayışı ve finansal, beşeri ve teknolojik altyapının hazır olmaması, geçişi zorlaştıran yapısal engellerdir (Ağören, 2017; Ayhan, 2014; Kara, 2025).

Tasarımın kendisi de bir dizi ikilem barındırır. Almanya benzeri bir nakdi ödeme seçeneği, esneklik ve aile bakımına saygı sağlarken, denetimden yoksun kaldığında kadınların karşılıksız emeğini profesyonelleştirmek yerine kalıcılaştırma tehlikesi taşır. Uygunluk ölçütlerinin adil ve şeffaf biçimde belirlenmesi, gönüllü ya da özel bir bileşenin ters seçilim sorununa yol açmaması ve reformun kamuoyu desteğiyle sahiplenilmesi, sürecin başarısını belirleyecek diğer hassas noktalardır. Yüksek enflasyonun sabit tutarlı yardımları hızla erittiği bir makroekonomik ortamda, güvence tutarlarının reel değerini koruyacak endeksleme mekanizmalarının kurulması da göz ardı edilemeyecek bir gerekliliktir (Barber vd., 2021).

2.5. Türkiye İçin Bir Model Önerisi

Önceki bölümlerde ortaya konan demografik aciliyet, mevcut yardım temelli yapının açıkları ve uluslararası deneyimlerin işaret ettiği ortak çekirdek birlikte değerlendirildiğinde, Türkiye için önerilebilecek modelin ana hatları belirginleşir. Bu öneri, tek bir ülke sistemini olduğu gibi aktarmak yerine, kamusal bir sosyal sigorta çekirdeğini Türkiye'nin kayıt dışı istihdam yapısı, güçlü aile bakımı geleneği ve kurumsal kapasite kısıtlarına uyarlayan karma bir tasarımı esas alır.

2.5.1. Modelin Temel Niteliği ve Finansmanı

Önerilen model, gönüllü katılıma ve piyasaya bırakılmış bir yapı yerine, kamusal ve zorunlu bir sosyal sigortayı merkeze koyar. Çünkü uluslararası kanıtlar, yaşlanan toplumlarda sürdürülebilir ve kapsayıcı çözümün ancak zorunlu bir tabanla sağlanabileceğini

göstermektedir (Feng ve Glinskaya, 2019). Finansman, işçi, işveren ve devletin katkılarını birleştiren üçlü bir prim yapısına dayanmalıdır. Bununla birlikte, işgücünün yaklaşık dörtte birinin kayıt dışı çalıştığı bir ortamda salt prime dayalı bir modelin tabanı dar kalacağından, sisteme genel vergilerden aktarılan güçlü bir kamu katkısının eklenmesi ve prim ödeme kapasitesi olmayan kesimler için vergiyle finanse edilen bir güvence katmanının kurulması gerekir (Barber vd., 2021). Kaynakların yıllık bütçe önceliklerine kurban edilmemesi için, toplanan gelirin genel bütçeden ayrı, tahsis edilmiş bir bakım fonunda tutulması kritik önemdedir. Türkiye için yapılan çözümlemeler, işçi, işveren ve devletin eşit katkısına dayanan bir fonun gelir-gider dengesini sağlayacak optimal prim oranını yaklaşık yüzde 3,4 düzeyinde hesaplamıştır (Ağören, 2017). Benzer fiyatlama çalışmaları da prim tutarının, yaş ve bakıma muhtaçlık insidansına duyarlı biçimde belirlenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır (Çiftçi, 2021). Güney Kore örneğinin gösterdiği gibi, bu primin mevcut Sosyal Güvenlik Kurumu altyapısı üzerinden, sağlık sigortası tahsilatına eklemlenmiş bir oran olarak toplanması, sistemin hızlı ve düşük maliyetli biçimde hayata geçirilmesini sağlayabilir (Rhee vd., 2015). İsteğe bağlı tamamlayıcı özel sigortalar ise bu kamusal çekirdeğin üzerine, güvenceyi genişletici bir üst katman olarak konumlandırılabilir.

2.5.2. Kapsam ve Hak Sahipliği

Modelin ayırt edici niteliği, mevcut sistemin muhtaçlık esasından kopup hakka dayalı bir güvenceye geçmesidir. Buna göre 65 yaş ve üzeri bireyler nedenine bakılmaksızın, daha genç bireyler ise yaşa bağlı belirli hastalık ve engellilik durumlarında sisteme dahil edilmelidir. Sosyal güvenlik kapsamındaki nüfusun bakım sigortalısı sayılması, kapsayıcılığı güçlendirecek bir başlangıç noktasıdır (Ağören, 2017). Hak sahipliği gelir testine değil, ülke genelinde standartlaştırılmış bir işlevsel bağımlılık değerlendirmesine bağlanmalıdır. Günlük yaşam etkinlikleri ölçekleri temelinde kurulacak ulusal bir bakım kademelendirme sistemi, bağımlılık düzeyini derecelendirerek yardım miktarını nesnel bir zemine oturtur (Colombo vd., 2011). Bu değerlendirmenin, Sağlık Bakanlığı gözetiminde devlet ve üniversite hastanelerinde oluşturulacak, tek elden işleyen ve tarafsız uzman bakım heyetlerince yürütülmesi, mevcut yapıdaki dağınıklığın ve keyfiliğin önüne geçilmesi bakımından zorunludur (Ağören, 2017).

2.5.3. Hizmet ve Fayda Tasarımı

Fayda tasarımı, bireyin sosyal çevresinden koparılmadan bakılması ilkesini benimseyerek ev ve toplum temelli hizmetleri önceliklendirmeli, kurumsal bakımı ileri bağımlılık düzeyleri için ayırmalıdır (Ağören, 2017; Özkan ve Aca, 2021). Hak sahibine ayni hizmet ile nakdi ödenek arasında seçim tanınması, Türkiye'nin aile bakımı geleneğiyle uyumlu esnek bir çözümdür. Ancak Almanya deneyiminin öğrettiği üzere, nakdi ödemenin kadınların karşılıksız emeğini kalıcılaştırmaması için bu seçeneğe bakım verene yönelik eğitim, emeklilik primi katkısı, dinlendirici bakım hakkı ve düzenli denetim gibi güvenceler eşlik etmelidir (Nadash vd., 2018; Hekimler, 2017). Böylece nakdi destek, enformel bakımı görünür kılıp değerini tanıyan bir araca dönüşürken, kalitesiz ve denetimsiz bir bakıma zemin hazırlamaz.

2.5.4. Kurumsal Yapı ve İş Gücü

Modelin başarısı, bugün Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı, Sağlık Bakanlığı ve yerel yönetimler arasında bölünmüş olan hizmetlerin eşgüdümlü bir yapıya kavuşturulmasına bağlıdır. Sosyal Güvenlik Kurumu'nun sigortacı ve tahsilatçı, ilgili bakanlıkların hizmet düzenleyici, belediyelerin ise yerel sunucu olarak konumlandığı; hizmet sağlayıcıların akreditasyona ve kalite denetimine tabi tutulduğu bütünleşik bir yönetişim modeli benimsenmelidir. Bu yapının işleyebilmesi için nitelikli bakım işgücüne yapılacak yatırım vazgeçilmezdir. Ücret, kariyer ve çalışma koşulları iyileştirilmeden personel arzının sürdürülemeyeceği, uluslararası örneklerin ortak dersidir (Campbell vd., 2010). Bu doğrultuda bakım alanına yönelik meslek liseleri ile yüksekokulların kurulup yaygınlaştırılması, işgücü

arzını ve bakım kalitesini destekleyecek bir adım olarak önerilmektedir (Ağören, 2017).

2.5.5. Geçiş Stratejisi

Dönüşüm aşamalı ve öngörülü bir takvimle yürütülmelidir. Pilot uygulamalarla sınanarak yaygınlaştırılacak bir modelin, demografik baskı zirveye ulaşmadan devreye alınması, geçişin maliyetini düşürecek ve sistemin olgunlaşması için zaman kazandıracaktır. Mevcut evde bakım yardımı ve 2828 sayılı Kanun altyapısı, tümüyle terk edilecek bir yük olarak değil, yeni sisteme geçişte kullanılabilecek bir zemin olarak değerlendirilebilir. Reformun kamuoyu desteğiyle sahiplenilmesi, güvence tutarlarının enflasyona karşı endekslenmesi ve bölgeler arası eşitliğin gözetilmesi, modelin sürdürülebilirliğini belirleyecek tamamlayıcı unsurlardır. Nitekim Türkiye'ye ilişkin mevcut çözümlemeler de, teknik tasarımın ötesinde kamuoyu farkındalığının ve savunuculuk koalisyonlarının bu reformun önündeki en belirleyici koşullar olduğuna işaret etmektedir (Kara, 2025).

3. SONUÇ

Bu çalışma, bakım sigortasının Türkiye için niçin ertelenemez bir politika önceliği olduğunu; demografik, toplumsal ve kurumsal kanıtları bir araya getirerek ortaya koymuştur. Yaşlı nüfusun hızla arttığı, bağımlılık oranının yükseldiği ve geleneksel olarak kadınların karşılıksız emeğine dayanan aile bakımının kentleşme, kadın istihdamı ve hane yapısındaki dönüşümlerle daralan kapasitesi karşısında (TÜİK, 2025), ülkenin mevcut yardım temelli ve dağınık bakım modeli giderek sürdürülemez hâle gelmektedir. Muhtaçlık esasına dayanan, yıllık bütçeye bağımlı ve orta gelirli kesimi kapsam dışında bırakan bugünkü yapı; erişilebilirlik, kalite ve mali sürdürülebilirlik eksenlerinde belirgin açıklar taşımaktadır. Almanya, Japonya, Hollanda ve Güney Kore deneyimlerinin gösterdiği gibi, bu açıkları kapatmanın kalıcı yolu, bakım riskini aileden alıp geniş bir tabanda paylaştıran, sağlık sigortasından ayrı ve hakka dayalı bir güvence kurmaktan geçmektedir (Feng ve Glinskaya, 2019; Kocabaş ve Kol, 2020).

Türkiye için önerilebilecek yol, tek bir ülke modelini aynen aktarmak değil, kamusal ve zorunlu bir sosyal sigorta çekirdeğini ülkenin kayıt dışı istihdam yapısına, güçlü aile bakımı geleneğine ve kurumsal kısıtlarına uyarlayan karma bir tasarımdır. Bu modelin başarısı; güçlü bir kamu katkısıyla desteklenen tahsis edilmiş bir bakım fonuna, standartlaştırılmış ve tarafsız bir bağımlılık değerlendirmesine, ev temelli hizmetleri önceliklendiren esnek bir fayda tasarımına, bölünmüş hizmetleri bütünleştiren bir yönetişim yapısına ve nitelikli bakım işgücüne yapılacak yatırıma bağlıdır (Colombo vd., 2011; Ağören, 2017; Rhee vd., 2015). Türkiye'de çalışan nüfusun devlet destekli bir bakım sigortasına katılmaya isteklilik göstermesi, bu dönüşüm için elverişli bir toplumsal zemin bulunduğuna da işaret etmektedir (Orhaner ve Doğuç, 2016). Güney Kore örneğinin öğrettiği en önemli ders ise zamanlamayla ilgilidir. Bu adımın demografik baskı zirveye ulaşmadan, öngörülü bir takvimle atılması, dönüşümün maliyetini hafifletecek ve sistemin olgunlaşması için gereken zamanı kazandıracaktır. Bu bağlamda bakım sigortası, Türkiye için bir sosyal politika seçeneği olmanın ötesinde, yaşlanan bir toplumun onurlu bakım hakkını güvence altına alacak yapısal bir zorunluluk olarak değerlendirilmelidir.

KAYNAKÇA

Ağören, V. (2017). Bakım sigortası ve Türkiye için model önerisi. Sosyal Güvence, 6(12), 1–26. https://doi.org/10.21441/sguz.2017.57

Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı. (2015). Sağlık Bakanlığı ve bağlı kuruluşları tarafından evde sağlık hizmetlerinin sunulmasına dair yönetmelik. T.C. Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı. https://www.aile.gov.tr/eyhgm/mevzuat/ulusal-mevzuat/yonetmelikler/saglik-bakanligi-ve-bagli-kuruluslari-tarafindan-evde-saglik-hizmetlerinin-sunulmasina-dair-yonetmelik/

Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı. (2022). Huzurevleri 26 bin “çınar”ın yuvası oldu [Haber].

https://www.aile.gov.tr/haberler/huzurevleri-26-bin-cinarin-yuvasi-oldu/
Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı. (2023). Evde bakım yardımı kapsamında 60 yaş ve üzeri yaşlılara verilen destek [Haber]. https://aile.gov.tr/ankara/haberler/evde-bakim-yardimi-kapsaminda-60-yas-ve-uzeri-132-bin-yasliya-destek-verildi/
Ayhan, B. (2014). Uzun süreli bakım sistemleri ve finansman yöntemleri: Türkiye açısından değerlendirme (Uzmanlık tezi). Aile ve Sosyal Politikalar Bakanlığı Engelli ve Yaşlı Hizmetleri Genel Müdürlüğü, Ankara. https://www.aile.gov.tr/media/2635/burcu_ayhan.pdf
Barber, S. L., van Gool, K., Wise, S., Wood, M., Or, Z., Penneau, A., … Lorenzoni, L. (2021). Pricing long-term care for older persons. World Health Organization. https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/5779dbb9-e043-47e7-b469-b6803b07962b/content
Campbell, J. C., Ikegami, N., & Gibson, M. J. (2010). Lessons from public long-term care insurance in Germany and Japan. Health Affairs (Project Hope), 29(1), 87–95. https://doi.org/10.1377/hlthaff.2009.0548
Colombo, F., Llena-Nozal, A., Mercier, J., & Tjadens, F. (2011). Help wanted? Providing and paying for long-term care. OECD Health Policy Studies. OECD Publishing. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2011/05/help-wanted_g1g127b2/9789264097759-en.pdf
Çalışır, Y. C. (2024). Uzun dönemli bakım sigortasının literatürdeki izleri: Bibliyometrik bir inceleme. Sosyal Siyaset Konferansları Dergisi, (86), 42–54. https://doi.org/10.26650/jspc.2024.86.1362262
Çiftçi, H. G. (2021). Uzun dönem bakım sigortası ve Türkiye için stokastik model önerisi. International Anatolia Academic Online Journal Health Sciences, 7(3), 115–130. https://izlik.org/JA52TC87RW
Dünya Sağlık Örgütü. (2015). Yaşlanma ve sağlık üzerine dünya raporu. World Health Organization. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ageing-and-health
Feng, Z., & Glinskaya, E. (2019). Aiming higher: Advancing public social insurance for long-term care to meet the global aging challenge. International Journal of Health Policy and Management, 8(12). https://doi.org/10.15171/ijhpm.2019.121
Hekimler, A. (2015). Federal Almanya'da sosyal bakım sigortasının temel esasları – Türkiye için gözlemler –. Çalışma ve Toplum, 1(44), 45–76. https://izlik.org/JA67GJ75RU
Hekimler, A. (2017). Yaşlılara yönelik bir sosyal politika aracı olarak bakım sigortası: Federal Almanya örneği. Ahi Evran Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 3(2), 235–243. https://izlik.org/JA37RD27HA
Kara, B. (2025). Uzun süreli bakım sigortasının Türkiye bağlamında politika analizi. Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi, 28(1), 127–150. https://doi.org/10.61859/hacettepesid.1507213
Katz, S., Ford, A. B., Moskowitz, R. W., Jackson, B. A., & Jaffe, M. W. (1963). Studies of illness in the aged: The index of ADL: A standardized measure of biological and psychosocial function. JAMA, 185(12), 914–919. https://doi.org/10.1001/jama.1963.03060120024016
Kocabaş, F., & Kol, E. (2020). Almanya ve Türkiye'de karşılaştırmalı olarak bakım hizmetleri: Türkiye'de bakım sigortası kurulmasına yönelik bir öneri. Anadolu Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, 20(4), 283–310. https://doi.org/10.18037/ausbd.845822
Lawton, M. P., & Brody, E. M. (1969). Assessment of older people: Self-maintaining and instrumental activities of daily living. The Gerontologist, 9(3), 179–186.
Maarse, J. A. M. (H.), & Jeurissen, P. P. (2016). The policy and politics of the 2015 long-term care reform in the Netherlands. Health Policy, 120(3), 241–245. https://doi.org/10.1016/j.healthpol.2016.01.014
Nadash, P., Doty, P., & von Schwanenflügel, M. (2018). The German long-term care insurance

program: Evolution and recent developments. The Gerontologist, 58(3), 588–597. https://doi.org/10.1093/geront/gnx018

OECD. (2023). Health at a glance 2023: OECD indicators. OECD Publishing. https://www.oecd.org/en/publications/health-at-a-glance-2023_7a7afb35-en.html

Orhaner, E., & Doğuç, E. (2016). Büyükşehirlerde çalışan nüfusun Türkiye'deki bakım hizmetleri ve bakım sigortası hakkında beklentileri. Sağlık Akademisyenleri Dergisi, 3(4), 126–138. https://doi.org/10.5455/sad.13-1483621204

Özkan, Ş., & Aca, Z. (2021). Japonya evde bakım hizmetlerinin incelenmesi ve Türkiye için öneriler. Tıbbi Sosyal Hizmet Dergisi, (18), 157–178. https://doi.org/10.46218/tshd.940518

Rhee, J. C., Done, N., & Anderson, G. F. (2015). Considering long-term care insurance for middle-income countries: Comparing South Korea with Japan and Germany. Health Policy, 119(10), 1319–1329. https://doi.org/10.1016/j.healthpol.2015.06.001

Sosyal Güvenlik Kurumu. (2024). 2024 yılı faaliyet raporu. SGK. https://www.sgk.gov.tr/duyuru/detay/2024-Yili-Sosyal-Guvenlik-Kurumu-Faaliyet-Raporu-2025-02-28-02-28-52

T.C. (1983). 2828 sayılı Sosyal Hizmetler Kanunu (Ek madde 7). Resmî Gazete (Sayı: 18059).

T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı. (2023). Orta Vadeli Program (2024–2026). Ankara. https://www.sbb.gov.tr/orta-vadeli-program-2024-2026-aciklandi/

Türkiye İstatistik Kurumu. (2025). İstatistiklerle yaşlılar 2025. TÜİK. https://raporbulteni.com/139-tuik-istatistiklerle-yaslilar-2025/

Yasım, Y. K. (2026). Yaşlı bakım ihtiyacı ve uzun süreli bakım sigortasının küresel görünümü. Çalışma İlişkileri Dergisi, 17(1), 61–87. https://izlik.org/JA73XY58KY

KOZMETİK UYGULAMALARA YÖNELİK YLANG-YLANG UÇUCU YAĞI İÇEREN POLİVİNİL ALKOL/HYALURONİK ASİT HİDROJELLERİNİN HAZIRLANMASI VE KARAKTERİZASYONU

Ecz. Zeynep AYGÜN
University of Health Sciences, Hamidiye Faculty of Pharmacy, Department of Pharmaceutical Technology, 34668, İstanbul, Türkiye
ORCID ID: 0009-0004-1120-7063
Ecz. Sona BODAGHI
University of Health Sciences, Hamidiye Institute of Health Sciences, Department of Pharmaceutical Technology, 34668, İstanbul, Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-5874-4123
Dr. Öğr. Üyesi İmren ESENTÜRK-GÜZEL
University of Health Sciences, Hamidiye Faculty of Pharmacy, Department of Pharmaceutical Technology, 34668, İstanbul, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-4069-2035
Prof. Dr. Evren ALGIN YAPAR
Sivas Cumhuriyet University, Faculty of Pharmacy, Department of Pharmaceutical Technology, 58140, Sivas, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-6504-4608
Araş. Gör. Ebrar İNAL-KILIÇARSLAN
Bezmialem Vakif University, Faculty of Pharmacy, Department of Pharmacognosy, 34093, İstanbul, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-6022-1644
Prof. Dr. Murat KARTAL
Bezmialem Vakif University, Phytotherapy Research Center, 34093, İstanbul, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-3538-2769

ÖZET

Ylang-ylang (*Cananga odorata*) uçucu yağı, antioksidan ve antibakteriyel aktiviteleri ile dermatolojik uygulamalarda kullanım potansiyeli taşıyan bir uçucu yağdır. Bu çalışmada, topikal kullanıma yönelik ylang-ylang uçucu yağı içeren polivinil alkol (PVA)/hyaluronik asit (HA) hidrojellerinin hazırlanması ve *in vitro* karakterizasyonu amaçlanmıştır. Uçucu yağın içeriği GC-FID/MS analizi ile belirlenmiştir. Hidrojellerin hazırlanmasında %5 PVA ve %1 HA (a/h) sulu çözeltileri kullanılmıştır. Ön formülasyon çalışmalarında 100:0-50:50 (h/h) aralığındaki PVA/HA oranları, homojenlik, yapısal bütünlük ve esneklik açısından organoleptik olarak değerlendirilerek 60:40 (h/h) oranı seçilmiştir. Seçilen polimer oranında 75-200 µL aralığında ylang-ylang uçucu yağı içeren formülasyonlar hazırlanmış; uçucu yağ, 75 µL polisorbat 80 varlığında polimer karışımına ilave edilmiştir. Sonikasyon ve karıştırma sonrası karışımlar cam Petri kaplarına dökülerek 18 saat -20 °C'de dondurma ve 6 saat oda sıcaklığında çözündürmeden oluşan 5 dondurma-çözme döngüsüne tabi tutularak fiziksel çapraz bağlanmıştır. Organoleptik değerlendirmeler sonucunda 150 ve 200 µL uçucu yağ içeren formülasyonlar *in vitro* karakterizasyon için seçilmiştir. GC-FID/MS analizinde uçucu yağın %98,84'ünü temsil eden 22 bileşik tanımlanmış ve β-karyofilen (%35,35) majör bileşen olarak belirlenmiştir. FTIR analizinde karakteristik bantların korunduğu ve belirgin bir kimyasal etkileşimin olmadığı görülmüştür. Temas açısı değerleri 8-11° aralığında olup tüm hidrojeller hidrofilik özellik göstermiş ve jel fraksiyonları %80'in üzerinde bulunmuştur. Su buharı geçirgenlik hızı (WVTR) yaklaşık 86-89 g/m²·sa aralığında belirlenmiştir. DPPH radikal

süpürme aktiviteleri, uçucu yağ içermeyen ve 150 ve 200 µL uçucu yağ içeren hidrojellerde sırasıyla yaklaşık %18, %48 ve %62 olarak bulunmuştur. Formülasyonlar 4 ± 2 °C'de 30 gün boyunca fiziksel bütünlüklerini korumuştur. Sonuç olarak, ylang-ylang uçucu yağı içeren PVA/HA hidrojellerinin uygun fizikokimyasal özellikleri ve antioksidan aktiviteleri nedeniyle yaşlanma karşıtı veya cilt problemlerine yönelik doğrudan veya kozmetik aktifler için taşıyıcı formlar olarak kullanılabilecekleri değerlendirilmiştir.
Anahtar kelimeler: Ylang-ylang uçucu yağı, hidrojel, topikal uygulama, antioksidan aktivite

PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF POLYVINYL ALCOHOL/HYALURONIC ACID HYDROGELS CONTAINING YLANG-YLANG ESSENTIAL OIL FOR COSMETIC APPLICATIONS

ABSTRACT

Ylang-ylang (*Cananga odorata*) essential oil possesses antioxidant and antibacterial activities and has potential for use in dermatological applications. This study aimed to prepare and *in vitro* characterize polyvinyl alcohol (PVA)/hyaluronic acid (HA) hydrogels containing ylang-ylang essential oil for topical application. The composition of the essential oil was determined by GC-FID/MS analysis. Aqueous solutions of 5% (w/v) PVA and 1% (w/v) HA were used to prepare the hydrogel. In preformulation studies, PVA/HA ratios ranging from 100:0 to 50:50 (v/v) were organoleptically evaluated for homogeneity, structural integrity, and flexibility, and the 60:40 (v/v) ratio was selected. Formulations containing 75-200 µL ylang-ylang essential oil were prepared at the selected polymer ratio, and the essential oil was incorporated into the polymer mixture in the presence of 75 µL polysorbate 80. Following sonication and mixing, the mixtures were poured into glass Petri dishes and physically crosslinked by 5 freeze-thaw cycles consisting of freezing at -20 °C for 18 h and thawing at room temperature for 6 h. Based on organoleptic evaluations, formulations containing 150 and 200 µL essential oil were selected for *in vitro* characterization. GC-FID/MS analysis identified 22 compounds representing 98.84% of the essential oil, with β-caryophyllene (35.35%) as the major constituent. FTIR analysis showed that the characteristic bands were preserved, with no evident chemical interactions. Contact angle values ranged from 8° to 11°, indicating the hydrophilic nature of all hydrogels, while gel fractions were above 80%. Water vapor transmission rate (WVTR) values ranged from approximately 86 to 89 g/m²·h. DPPH radical scavenging activities were approximately 18%, 48%, and 62% for the essential oil-free hydrogel and hydrogels containing 150 and 200 µL essential oil, respectively. The formulations maintained their physical integrity for 30 days at 4 ± 2 °C. As a result, it has been concluded that PVA/HA hydrogels containing ylang-ylang essential oil can be used as carrier systems for anti-aging or skin-problem treatments, either directly or as vehicles for cosmetic active ingredients, based on their physicochemical properties and antioxidant activities.
Keywords: Ylang-ylang essential oil, hydrogel, topical application, antioxidant activity

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

ONCOCYTIC PAPILLARY CYSTADENOMA OF THE LARYNX: A RARE CASE

Ozge AYDIN,MD
Department of Medical Pathology, Giresun Training and Research Hospital, Giresun, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-6974-2462

ABSTRACT

Introduction

Oncocytic papillary cystadenoma (OPC) is an uncommon benign lesion of salivary gland origin and is particularly rare in the larynx, accounting for less than 1% of benign laryngeal neoplasms (1,2). It predominantly involves the supraglottic region, particularly the laryngeal ventricles and false vocal folds (1–4). Its cystic appearance may mimic more common benign laryngeal lesions, including saccular cysts and laryngoceles (1).

Case Presentation

A 78-year-old man with a long-standing smoking history presented with hoarseness. Magnetic resonance imaging revealed an approximately 8-mm, well-circumscribed, non-enhancing submucosal cystic lesion at the anterior aspect of the right vestibular fold. No pathologically enlarged cervical lymph nodes were identified. An excisional biopsy was performed.

Gross examination revealed a well-circumscribed cystic lesion measuring 0.7 × 0.4 × 0.2 cm. Histopathological examination demonstrated numerous intraluminal papillary projections supported by fibrovascular cores. The papillae and cystic spaces were lined by bland columnar oncocytic cells with abundant granular eosinophilic cytoplasm. No significant cytological atypia, increased mitotic activity, or infiltrative growth was identified. The characteristic lymphoid stroma of Warthin tumor was absent. The lesion was diagnosed as OPC.

Discussion

Oncocytic change has been associated with aging and chronic irritation, including tobacco exposure, and is thought to reflect metaplastic alteration of salivary ductal epithelium (3,4). The main histopathological differential diagnoses include Warthin tumor and other oncocytic lesions. The absence of lymphoid stroma, bland oncocytic lining, and lack of infiltrative growth support the diagnosis. Complete excision is preferred, while incomplete removal may increase the likelihood of recurrence (1,2).

Conclusion

OPC should be considered in the differential diagnosis of submucosal supraglottic masses. Recognition of its characteristic morphology is essential for accurate diagnosis and appropriate management.

Keywords: Oncocytic papillary cystadenoma; Larynx; Histopathology

References

Bosco, S., Ding, J., & Fundakowski, C. (2025). Oncocytic papillary cystadenoma of the larynx: a rare and masquerading entity. Ear, Nose & Throat Journal, 104(7), 402-404.

Caranti, A., Spasiano, R., Piantanida, R., Catalano, S., Campisi, R., Bergmann, M., & Trimarchi, M. (2024). Oncocytic papillary cystadenoma of the larynx: a case report. Journal of Medical Case Reports, 18(1), 172.

Boot, M., & Lathif, A. A case of an oncocystic laryngeal cyst: A rare pathology.

Bullock, M. J., & Jiang, X. S. (2023). Top ten oncocytic head and neck lesions to contemplate. Head and Neck Pathology, 17(1), 53-65.

OSTEOPOROZ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLEN BİREYLERDE KARDİYOMETABOLİK VE İNFLAMATUVAR KOMORBİDİTE ÖRÜNTÜLERİNİN İNCELENMESİ

Mahmud Sami TANŞU
Etlik Şehir Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, Ankara, Türkiye
ORCID ID: 0009-0003-4198-2434
Seher Berna KIRDÖK TANŞU
Ankara Üniversitesi Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Ankara, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-8483-4509

ÖZET

Osteoporoz açısından değerlendirilen bireylerde kemik sağlığını etkileyebilecek eşlik eden sistemik hastalıkların birlikte bulunması, klinik risk profilinin yorumlanmasını güçleştirebilir. Bu çalışmada, osteoporoz açısından değerlendirme amacıyla ortopedi polikliniğine başvuran bireylerde kardiyometabolik ve inflamatuvar komorbidite örüntülerinin ortaya konulması amaçlandı. Tanımlayıcı-kesitsel tasarımdaki çalışmada 124 erişkinin Hasta Tanıtım Bilgi Formunda beyan ettiği kronik hastalıklar analiz edildi. Aynı bireyde iki veya daha fazla kronik hastalığın bulunması multimorbidite olarak tanımlandı. Hipertansiyon (HT), diabetes mellitus (DM), hiperlipidemi (HPL) ve koroner arter hastalığı (KAH) kardiyometabolik; romatoid artrit (RA), Hashimoto tiroiditi, astım, kronik obstrüktif akciğer hastalığı, gut ve multipl skleroz inflamatuvar/immün aracılı komorbiditeler kapsamında değerlendirildi. Hastalık sıklıkları, eş-oluşum örüntüleri ve multimorbidite dağılımları tanımlayıcı istatistiklerle incelendi. Katılımcıların 97'sinde (%78,2) en az bir kronik hastalık bulunurken, 40'ında (%32,3) multimorbidite saptandı. En sık görülen kronik hastalıklar HT (n=55; %44,4), DM (n=31; %25,0), RA (n=16; %12,9) ve Hashimoto tiroiditi (n=10; %8,1) idi. Kardiyometabolik komorbidite 73 bireyde (%58,9), inflamatuvar/immün aracılı komorbidite 34 bireyde (%27,4) izlendi; 19 bireyde (%15,3) iki hastalık grubu birlikte bulundu. Multimorbiditesi olanların %90,0'ında en az bir kardiyometabolik, %57,5'inde en az bir inflamatuvar/immün aracılı hastalık mevcutken, %47,5'inde her iki grup birlikteydi. En belirgin eş-oluşum HT ve DM birlikteliği olup 15 bireyde (%12,1) saptandı; bunu HT-RA (n=7; %5,6) ve HT-Hashimoto tiroiditi (n=5; %4,0) birliktelikleri izledi. Bulgular, osteoporoz açısından değerlendirilen bireylerde kardiyometabolik hastalık yükünün multimorbidite örüntüsünün temel bileşeni olduğunu ve inflamatuvar/immün aracılı hastalıkların önemli bir bölümünde kardiyometabolik komorbiditelerin eşlik ettiğini göstermektedir. Osteoporoz değerlendirmesinde kemik dokusunun sistemik metabolik ve inflamatuvar çevreyle etkileşimi göz önünde bulundurularak komorbidite yükünün bütüncül biçimde değerlendirilmesi klinik izlem açısından yararlı olabilir.

Anahtar kelimeler: Osteoporoz, multimorbidite, kardiyometabolik hastalıklar, inflamasyon, komorbidite

EVALUATION OF CARDIOMETABOLIC AND INFLAMMATORY COMORBIDITY PATTERNS IN INDIVIDUALS ASSESSED FOR OSTEOPOROSIS

ABSTRACT

The coexistence of systemic diseases that may influence bone health may complicate clinical assessment in individuals undergoing evaluation for osteoporosis. This study aimed to characterize cardiometabolic and inflammatory comorbidity patterns among adults referred to an orthopedics outpatient clinic for osteoporosis evaluation. In this descriptive cross-sectional study, self-reported chronic diseases recorded in the Patient Information Form of 124 adults were analyzed. Multimorbidity was defined as the presence of two or more chronic diseases in the same individual. Hypertension (HT), diabetes mellitus (DM), hyperlipidemia (HPL), and coronary artery disease (CAD) were classified as cardiometabolic comorbidities, whereas rheumatoid arthritis (RA), Hashimoto thyroiditis, asthma, chronic obstructive pulmonary disease, gout, and multiple sclerosis were considered inflammatory/immune-mediated comorbidities. Disease frequencies, co-occurrence patterns, and multimorbidity distributions were evaluated using descriptive statistics. At least one chronic disease was present in 97 participants (78.2%), and multimorbidity was identified in 40 (32.3%). The most frequent conditions were HT (n=55; 44.4%), DM (n=31; 25.0%), RA (n=16; 12.9%), and Hashimoto thyroiditis (n=10; 8.1%). Cardiometabolic comorbidity was observed in 73 participants (58.9%), inflammatory/immune-mediated comorbidity in 34 (27.4%), and both categories in 19 (15.3%). Among participants with multimorbidity, 90.0% had at least one cardiometabolic condition, 57.5% at least one inflammatory/immune-mediated condition, and 47.5% conditions from both categories. The most frequent co-occurrence was HT with DM (n=15; 12.1%), followed by HT with RA (n=7; 5.6%) and HT with Hashimoto thyroiditis (n=5; 4.0%). These findings indicate that cardiometabolic disease burden is a major component of multimorbidity in individuals assessed for osteoporosis. Considering the interaction between bone tissue and the systemic metabolic and inflammatory environment, comprehensive evaluation of comorbidity burden may be useful during clinical follow-up.

Keywords: Osteoporosis, multimorbidity, cardiometabolic diseases, inflammation, comorbidity

HETEROJEN VERİ SETLERİNDE KANSER SINIFLANDIRMASI İÇİN DİNAMİK UYARLANABİLİR TOPLULUK ÖĞRENME

Dr. Öğr. Üyesi Erdinç KARAKULLUKÇU
Karadeniz Technical University, Faculty of Science, Department of Computer Science, 61080 Ortahisar, Trabzon
ORCID ID: 0000-0001-8805-1694

ÖZET
Kanser sınıflandırmasında, farklı veri setleri örneklem büyüklüğü, özellik yapısı ve sınıf dağılımı açısından önemli farklılıklar gösterebildiğinden, makine öğrenmesi sınıflandırıcılarının tahmin performansları veri setine bağlı olarak önemli ölçüde değişebilmektedir. Bu çalışmada, heterojen sınıflandırıcılardan oluşan bir havuzda, veri setine özgü bir sınıflandırma stratejisi belirleyen DACE (Dynamic Adaptive Classification Ensemble) adlı dinamik uyarlanabilir bir topluluk öğrenme çerçevesi önerilmektedir. DACE, öncelikle aday sınıflandırıcıların iç çapraz doğrulama sürecinde elde edilen katman dışı (out-of-fold) dengeli doğruluk değerlerini kullanarak sınıflandırıcı yeterliliğini değerlendirir. Ardından, aday modellerin göreli performans sıralamaları ve çeşitlilik bilgisine dayalı bir düzeltme faktörü birlikte kullanılarak modellerin göreli uygunlukları belirlenir; böylece DACE'in her veri setinin özelliklerine göre sınıflandırıcıları seçmesi veya ağırlıklandırması sağlanır. Aday model havuzu; Lojistik Regresyon, Destek Vektör Makineleri, Rastgele Orman, Ekstra Ağaçlar, K-En Yakın Komşu, HistGradientBoosting, LightGBM ve XGBoost yöntemlerinden oluşmaktadır. Önerilen yöntem, beşi UCI Machine Learning Repository'den ve biri Kaggle'dan alınan altı gerçek kanser veri seti üzerinde değerlendirilmiştir. Değerlendirmede tabakalandırılmış beş katlı çapraz doğrulama kullanılmış ve temel performans ölçütü olarak dengeli doğruluk tercih edilmiştir. DACE, dokuz değerlendirilen yöntem arasında altı veri seti genelinde 0.8561 ile en yüksek genel ortalama dengeli doğruluğa ve 3.083 ile en düşük ortalama sıra değerine ulaşmıştır. Ayrıca altı veri setinin üçünde en yüksek performansı elde etmiştir. Bununla birlikte, bazı veri setlerinde geleneksel sınıflandırıcıların daha başarılı olması, sınıflandırıcı performansının veri setine bağımlı olduğunu göstermektedir. Genel olarak sonuçlar, doğrulama tabanlı yeterlilik, göreli sıralama ve çeşitlilik bilgilerinin birlikte kullanılmasının heterojen kanser veri setleri için rekabetçi ve uyarlanabilir bir sınıflandırma stratejisi sağlayabildiğini ortaya koymaktadır.
Anahtar kelimeler: Dinamik uyarlanabilir topluluk öğrenme, kanser sınıflandırması, sınıflandırıcı seçimi, dengeli doğruluk, makine öğrenmesi

DYNAMIC ADAPTIVE ENSEMBLE LEARNING FOR CANCER CLASSIFICATION ACROSS HETEROGENEOUS DATASETS

ABSTRACT
Cancer classification is challenging because the predictive performance of machine learning classifiers can vary considerably across datasets with different sample sizes, feature structures, and class distributions. To address this issue, this study proposes DACE, a Dynamic Adaptive Classification Ensemble framework that determines a dataset-specific classification strategy from a pool of heterogeneous classifiers. DACE first evaluates the candidate classifiers through inner cross-validation, using out-of-fold balanced accuracy as the primary measure of classifier competence. Relative performance ranks and a diversity adjustment are then incorporated to quantify the relative suitability of the candidate models, allowing DACE to adaptively select or

weight classifiers according to the characteristics of each dataset. The candidate pool consists of Logistic Regression, Support Vector Machine, Random Forest, Extra Trees, K-Nearest Neighbors, HistGradientBoosting, LightGBM, and XGBoost. The proposed framework is evaluated on six real-world cancer datasets, five obtained from the UCI Machine Learning Repository and one Lung Cancer dataset obtained from Kaggle. Stratified five-fold cross-validation is employed, with balanced accuracy used as the primary performance metric. DACE achieved the highest overall mean balanced accuracy of 0.8561 and the lowest mean rank of 3.083 across the six datasets among the nine evaluated methods. It also achieves the best performance on three of the six datasets. However, conventional classifiers remain preferable for some datasets, demonstrating the dataset-dependent nature of classifier performance. Overall, the results indicate that incorporating validation-based competence, relative ranking, and diversity information enables DACE to provide a competitive and adaptive classification strategy for heterogeneous cancer datasets.

Keywords: Dynamic adaptive ensemble learning, cancer classification, classifier selection, balanced accuracy, machine learning

CERRAHİ DUMANIN AMELİYATHANE ÇALIŞANLARI VE HASTA SAĞLIĞI ÜZERİNE ETKİLERİ VE KORUNMA YÖNTEMLERİ

Öğr. Gör. Burcu YEŞİLBAŞ
Kocaeli Health and Technology University, Operating Room Services Program, 41275 Yeniköy Merkez, Kocaeli
ORCID ID: 0000-0002-7389-6317
Öğr. Gör. Fatma ÖZDER
Kocaeli Health and Technology University, Dialysis Program, 41275 Yeniköy Merkez, Kocaeli
ORCID ID: 0000-0002-4729-0864

ÖZET
Ameliyathanelerde elektrokoter, lazer ve ultrasonik cihazların kullanımı sonucu ortaya çıkan cerrahi duman; %95 su ve %5 oranında toksik gazlar, kan partikülleri, hücresel materyaller ile HPV gibi virüslerden oluşan zararlı bir karışımdır. Literatür verileri incelendiğinde, 500.000'den fazla sağlık çalışanının maruz kaldığı bu dumanın, ameliyathane personelinde normal popülasyona göre iki kat daha fazla solunum sıkıntısına yol açtığı ve yine bir çalışmada hemşirelerin %87.3'ünde baş ağrısı, bulantı, öksürük gibi semptomlara neden olduğu görülmüştür. Cerrahi dumanın solunması KOAH ve astımdan, HPV kaynaklı tonsil kanserine kadar ciddi sağlık sorunlarını beraberinde getirmektedir. Aynı zamanda 1 gram dokunun elektrokoter ile vaporize edilmesi, mutajenik etki açısından 3–6 filtresiz sigaraya eşdeğer bulunmuştur. Bir ameliyathanede gün boyunca oluşan toplam cerrahi duman maruziyeti ise yaklaşık 27–30 filtresiz sigaraya eşdeğer olarak rapor edilmiştir. Ayrıca açığa çıkan karbonmonoksit gazı hastaların periton membranı tarafından emilerek hemoglobin kapasitesini düşürmektedir. Bu yüksek risklere rağmen, yapılan bir çalışmada ameliyathane çalışanlarının %61.9'unun cerrahi duman konusunda eğitim almadığı, kurumlarda duman tahliye protokollerinin ve etkin tahliye cihazlarının kullanımının son derece yetersiz olduğu saptanmıştır. Genel havalandırma sistemleri ve standart cerrahi maskelerin dumanı önlemede yetersiz kaldığı dikkate alındığında; hastane politikalarının ve duman tahliye protokollerinin oluşturulması, ameliyathane havasının saatte en az 15-20 kez yenilenmesi, yüksek filtrasyonlu maskeler ile özel duman tahliye cihazlarının kullanımının zorunlu hale getirilmesi ve hizmet içi eğitimlerin artırılması büyük önem arz etmektedir.
Anahtar kelimeler: Ameliyathane, Cerrahi Duman, Çalışan Güvenliği, İş Sağlığı, Hasta Güvenliği

THE EFFECTS OF SURGICAL SMOKE ON OPERATING ROOM STAFF AND PATIENT HEALTH, AND METHODS OF PROTECTION

ABSTRACT
Surgical smoke generated using electrosurgical units, lasers, and ultrasonic devices in operating rooms is a harmful mixture consisting of 95% water and 5% toxic gases, blood particles, cellular materials, and viruses such as HPV. A review of the literature reveals that this smoke, to which more than 500,000 healthcare workers are exposed, causes respiratory distress in operating room staff at a rate twice that of the general population. Furthermore, one study found that 87.3% of nurses experienced symptoms such as headaches, nausea, and coughing. Inhalation of surgical smoke is associated with serious health problems ranging from COPD and asthma to HPV-related tonsil cancer. Furthermore, vaporizing 1 gram of tissue with an electrosurgical

unit has been found to be equivalent to 3–6 unfiltered cigarettes in terms of mutagenic effects. The total exposure to surgical smoke generated in an operating room over the course of a day has been reported to be equivalent to approximately 27–30 unfiltered cigarettes. Furthermore, the carbon monoxide gas released is absorbed by patients' peritoneal membranes, reducing hemoglobin capacity. Despite these high risks, a study found that 61.9% of operating room staff had not received training on surgical smoke, and that the use of smoke evacuation protocols and effective evacuation devices in healthcare facilities was extremely inadequate. Given that general ventilation systems and standard surgical masks are insufficient for smoke control, it is of great importance to establish hospital policies and smoke evacuation protocols, ensure that the air in the operating room is renewed at least 15–20 times per hour, mandate the use of high-filtration masks and specialized smoke evacuation devices, and increase in-service training.
Keywords: Operating Room, Surgical Smoke, Employee Safety, Occupational Health, Patient Safety

HEMŞİRELİKTE ÜRETKEN YAPAY ZEKÂ: HALÜSİNASYONLAR VE KLİNİK GÜVENİLİRLİK

Öğr. Gör. Fatma ÖZDER
Kocaeli Health and Technology University, Dialysis Program, 41275 Yeniköy Merkez, Kocaeli
ORCID ID: 0000-0002-4729-0864
Öğr. Gör. Burcu YEŞİLBAŞ
Kocaeli Health and Technology University, Operating Room Services Program, 41275 Yeniköy Merkez, Kocaeli
ORCID ID: 0000-0002-7389-6317

ÖZET
Üretken yapay zekâ (ÜYZ), hemşirelik eğitimi ve klinik uygulamalarda bilgiye erişim, klinik karar desteği ve hasta eğitimi gibi alanlarda giderek daha fazla kullanılmaktadır. Ancak ÜYZ sistemlerinin gerçek gibi görünen yanlış veya uydurma bilgiler üretmesi (halüsinasyon), özellikle klinik bilgi kullanımında hasta güvenliği açısından önemli bir risk oluşturmaktadır. Bu derlemenin amacı, hemşireler ve hemşirelik öğrencilerinin yapay zekâya yönelik tutum ve güven düzeyleri ile yapay zekânın tıbbi bilgi üretimindeki doğruluğuna ilişkin güncel kanıtları değerlendirmektir. Mevcut bulgular, hemşirelik öğrencilerinin yapay zekâya yönelik genel olarak olumlu, hemşirelerin ise temkinli iyimser bir tutum sergilediğini göstermektedir. Hemşirelerin yapay zekâ kavramlarına temel düzeyde aşina oldukları, ancak klinik kullanım için gerekli bilgi ve yetkinliklerinin henüz yeterli düzeyde olmadığı görülmektedir. Öğrenciler yapay zekânın kullanımını yararlı bulmakta, ancak klinik önerilere yönelik güvenleri daha düşük düzeyde kalmaktadır. Tıbbi bilgi doğruluğuna ilişkin güncel çalışmalar, yapay zekâ çıktılarının yüksek doğruluk gösterse bile klinik açıdan her zaman güvenli olmadığını ortaya koymaktadır. Güncel literatürde, büyük dil modellerinin tıbbi sorulara verdikleri yanıtların %3–19'unun yetersiz olduğu ve bu yanıtlar arasında halüsinasyonların da bulunduğu bildirilmiştir. Başka bir çalışmada, yanıtların doğruluğu %74,9 olmasına rağmen %33,3'ünde potansiyel klinik zarar riski saptanmıştır. Hastaların yönelttiği tıbbi sorulara verilen yanıtların değerlendirildiği güncel bir çalışmada ise problemli yanıt oranı %21,6–43,2, güvensiz yanıt oranı %5–13 arasında bulunmuştur. Bu sonuçlar, yapay zekânın hemşirelikte yararlı bir bilgi ve karar destek aracı olabileceğini, ancak klinik karar verme sürecinde tek başına kullanılmaması gerektiğini göstermektedir. Yapay zekâ çıktılarının güvenilir kaynaklarla doğrulanması ve klinik karar süreçlerinde insan denetiminin sürdürülmesi önemlidir. Hemşirelik eğitiminde yapay zekâ okuryazarlığı yalnızca teknolojiyi kullanma becerisiyle sınırlı kalmamalı; hatalı veya uydurma bilgileri fark etme, üretilen bilgiyi eleştirel değerlendirme ve güvenilir klinik kaynaklarla doğrulama becerilerini de kapsamalıdır.
Anahtar kelimeler: Üretken yapay zekâ, hemşirelik, yapay zekâ güvenilirliği, hasta güvenliği.

GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN NURSING: HALLUCINATIONS AND CLINICAL RELIABILITY

ABSTRACT

Generative artificial intelligence (GAI) is increasingly being used in nursing education and clinical practice in areas such as access to information, clinical decision support, and patient education. However, the ability of GAI systems to generate false or fabricated information that appears realistic (hallucinations) poses a significant risk to patient safety, particularly in the use of clinical information. The purpose of this review is to evaluate current evidence regarding nurses' and nursing students' attitudes and levels of trust toward artificial intelligence, as well as the accuracy of AI in generating medical information. Current findings indicate that nursing students generally exhibit a positive attitude toward AI, while nurses display a cautiously optimistic stance. It appears that nurses are familiar with basic AI concepts but do not yet possess the necessary knowledge and competencies for clinical use. Students find the use of AI beneficial, but their confidence in clinical recommendations remains relatively low. Recent studies on the accuracy of medical information reveal that even when AI outputs demonstrate high accuracy, they are not always clinically safe. Current literature reports that 3–19% of the answers provided by large language models to medical questions are inadequate, and that these answers include hallucinations. In another study, although the accuracy of the answers was 74.9%, a potential risk of clinical harm was identified in 33.3% of them. In a recent study evaluating responses to medical questions posed by patients, the rate of problematic responses ranged from 21.6% to 43.2%, and the rate of unreliable responses ranged from 5% to 13%. These results indicate that artificial intelligence can be a useful information and decision-support tool in nursing, but it should not be used alone in the clinical decision-making process. It is important to verify AI outputs against reliable sources and to maintain human oversight in clinical decision-making processes. AI literacy in nursing education should not be limited to the ability to use technology; it should also include the skills to identify erroneous or fabricated information, critically evaluate the generated information, and verify it against reliable clinical sources.

Keywords: Generative artificial intelligence, nursing, AI reliability, patient safety.

YOĞUN BAKIM HEMŞİRELERİNDE DUYGUSAL OKURYAZARLIĞIN MERHAMET DÜZEYİ VE MERHAMET YORGUNLUĞU ÜZERİNE ETKİLERİ: TÜRKİYE'DEN KESİTSEL BİR ÇALIŞMA

Dr. Öğr. Üyesi Ercan BAKIR
Adıyaman Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, Adıyaman, Türkiye
ORCID: 0000-0002-1752-5298
Prof. Dr. Sevgin SAMANCIOĞLU BAĞLAMA
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, Muğla, Türkiye
ORCID: 0000-0003-2700-8988

ÖZET

Amaç: Bu çalışmanın amacı, yoğun bakım hemşirelerinde duygusal okuryazarlığın merhamet düzeyi ve merhamet yorgunluğu üzerindeki etkilerini incelemektir.

Yöntem: Tanımlayıcı, kesitsel ve ilişkisel tipte tasarlanan bu araştırma, Türkiye'nin doğusunda bir şehir hastanesinin yoğun bakım ünitelerinde görev yapan 413 hemşire ile yürütülmüştür. Veriler Tanıtıcı Bilgi Formu, Duygusal Okuryazarlık Ölçeği, Merhamet Ölçeği ve Merhamet Yorgunluğu Kısa Ölçeği kullanılarak toplanmıştır. Verilerin analizinde IBM SPSS 27 programı kullanılmış; istatistiksel anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edilmiştir.

Bulgular: Yoğun bakım hemşirelerinin Duygusal Okuryazarlık Ölçeği toplam puan ortalaması 121,41±13,36, Merhamet Ölçeği toplam puan ortalaması 85,35±15,34 ve Merhamet Yorgunluğu Ölçeği toplam puan ortalaması 57,40±23,28 olarak bulunmuştur. Duygusal okuryazarlık ile merhamet düzeyi arasında orta düzeyde, pozitif yönde anlamlı bir ilişki ($r=0,420$; $p<0,01$); duygusal okuryazarlık ile merhamet yorgunluğu arasında ise zayıf düzeyde, negatif yönde anlamlı bir ilişki ($r=-0,103$; $p<0,01$) saptanmıştır. Yoğun bakımda gönüllü çalışan hemşirelerin duygusal okuryazarlık puanlarının anlamlı düzeyde yüksek ($p=0,043$), merhamet yorgunluğu puanlarının ise anlamlı düzeyde düşük olduğu belirlenmiştir ($p=0,001$).

Sonuç: Yoğun bakım hemşirelerinde orta düzeyde duygusal okuryazarlık ve yüksek düzeyde merhamet gözlemlenmiştir. Duygusal okuryazarlığın merhameti artırıcı ve merhamet yorgunluğunu azaltıcı bir etkisi olduğu belirlenmiştir. Yoğun bakım hemşirelerine yönelik duygusal okuryazarlık eğitimlerinin mesleki dayanıklılığı artırabileceği ve merhamet yorgunluğunu azaltmada etkili olabileceği önerilmektedir.

Anahtar kelimeler: Yoğun bakım, duygusal okuryazarlık, merhamet, merhamet yorgunluğu, hemşirelik

THE EFFECTS OF EMOTIONAL LITERACY ON COMPASSION LEVELS AND COMPASSION FATIGUE AMONG INTENSIVE CARE NURSES: A CROSS-SECTIONAL STUDY FROM TÜRKİYE

ABSTRACT

Objective: This study aimed to examine the effects of emotional literacy on compassion levels and compassion fatigue in intensive care nurses.

Methods: This descriptive, cross-sectional, and correlational study was conducted with 413 intensive care nurses working in a city hospital in eastern Türkiye. Data were collected using the Descriptive Information Form, Emotional Literacy Scale, Compassion Scale, and Compassion Fatigue Short Scale. Data were analyzed using IBM SPSS 27, and $p<0.05$ was considered statistically significant.

Results: The mean total scores were 121.41±13.36 for Emotional Literacy, 85.35±15.34 for Compassion, and 57.40±23.28 for Compassion Fatigue. A moderate positive correlation was

found between emotional literacy and compassion ($r=0.420$, $p<0.01$), while a weak negative correlation was found between emotional literacy and compassion fatigue ($r=-0.103$, $p<0.01$). Nurses who voluntarily worked in intensive care units had significantly higher emotional literacy scores ($p=0.043$) and significantly lower compassion fatigue scores ($p=0.001$).

Conclusion: Moderate emotional literacy and high compassion levels were observed among intensive care nurses. Emotional literacy was found to have an increasing effect on compassion and a decreasing effect on compassion fatigue. Emotional literacy training for intensive care nurses may enhance professional resilience and reduce compassion fatigue.

Keywords: Intensive care, emotional literacy, compassion, compassion fatigue, nursing

DİZ OSTEOARTRİTLİ BİREYLERDE SICAK KOMPRES İLE BİRLİKTE UYGULANAN ÇÖREK OTU VE ZENCEFİL YAĞININ AĞRI, TUTUKLUK, FİZİKSEL FONKSİYON VE KONFOR ÜZERİNE ETKİSİ: RANDOMİZE KONTROLLÜ BİR ÇALIŞMA

Prof. Dr. Sevgin SAMANCIOĞLU BAĞLAMA
Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, İç Hastalıkları Hemşireliği Anabilim Dalı
ORCID: 0000-0003-2700-8988
Dr. Öğr. Üyesi Ercan BAKIR
Adıyaman Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Hemşirelik Bölümü, 02040, Adıyaman, Türkiye
ORCID: 0000-0002-1752-5298

ÖZET

Diz osteoartriti (DOA), erişkinlerde ağrı ve fiziksel yetersizliğin önde gelen nedenlerinden biridir ve küresel olarak prevalansı giderek artmaktadır. DOA'nın yapısal değişikliklerini tamamen geri döndürebilecek bir tedavi bulunmamakla birlikte, semptom yönetiminde farmakolojik olmayan yöntemler ve tamamlayıcı yaklaşımlar önem kazanmaktadır. Bu çalışmanın amacı, diz osteoartritli bireylerde sıcak kompres ile birlikte uygulanan çörek otu yağı ve zencefil yağının ağrı, tutukluk, fiziksel fonksiyon ve konfor üzerine etkisini değerlendirmektir. Çalışma, dört kollu randomize kontrollü deneysel bir araştırma olarak Türkiye'nin güneyinde bulunan bir araştırma hastanesinin fizik tedavi ve rehabilitasyon kliniğinde gerçekleştirilmiştir. Araştırmaya Kellgren-Lawrence sınıflamasına göre Evre 3 diz osteoartriti tanısı alan, 18 yaş ve üzeri, VAS-Ağrı puanı ≥4 olan toplam 120 katılımcı dahil edilmiştir. Katılımcılar basit randomizasyon yöntemiyle dört gruba (çörek otu yağı + sıcak kompres, zencefil yağı + sıcak kompres, sham ve kontrol) ayrılmıştır. Uygulama yedi gün boyunca günde bir kez gerçekleştirilmiştir. Veriler, Hasta Bilgi Formu, WOMAC Osteoartrit İndeksi, Görsel Analog Skala-Ağrı (VAS-A) ve Genel Konfor Ölçeği Kısa Formu kullanılarak toplanmıştır. Araştırma sonucunda, tüm gruplarda WOMAC ve VAS-A puanlarında istatistiksel olarak anlamlı azalma, konfor düzeyinde ise anlamlı artış saptanmıştır ($p<0,05$). Gruplar arası karşılaştırmalarda, çörek otu yağı ile sıcak kompres uygulanan grupta ağrı, tutukluk ve fiziksel fonksiyon göstergelerinde daha belirgin iyileşmeler gözlenmiştir ($p<0,05$). Ancak konfor düzeyi açısından zencefil yağı grubu ile diğer gruplar arasında anlamlı fark bulunmamıştır ($p>0,05$). Bulgular, sıcak kompres ile birlikte uygulanan çörek otu ve zencefil yağının diz osteoartritli bireylerde semptom yönetimini destekleyebileceğini ve özellikle çörek otu yağı kombinasyonunun daha belirgin iyileşme sağladığını göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Diz osteoartriti, çörek otu yağı, zencefil yağı, sıcak kompres, ağrı, konfor

EFFECT OF HOT COMPRESS WITH BLACK CUMIN OIL AND GINGER OIL ON PAIN, STIFFNESS, PHYSICAL FUNCTION AND COMFORT IN INDIVIDUALS WITH KNEE OSTEOARTHRITIS: A RANDOMIZED CONTROLLED TRIAL

ABSTRACT

Knee osteoarthritis (KOA) is one of the leading causes of pain and physical disability in adults, and its prevalence is increasing globally. Currently, there is no treatment that can completely reverse the structural changes caused by KOA; therefore, nonpharmacological methods and complementary approaches are gaining importance in symptom management. This study aimed to evaluate the effects of hot compresses applied with black cumin oil and ginger oil on pain, stiffness, physical function, and comfort in individuals with knee osteoarthritis. The study was conducted as a four-arm randomized controlled trial at the physical therapy and rehabilitation clinic of a research hospital in southern Turkey. A total of 120 participants diagnosed with Stage 3 knee osteoarthritis according to the Kellgren-Lawrence classification, aged 18 years and older, with a Visual Analog Scale-Pain (VAS-P) score of ≥4 were included. Participants were randomly assigned to four groups (black cumin oil + hot compress, ginger oil + hot compress, sham, and control). The intervention was applied once daily for seven days. Data were collected using the Patient Information Form, WOMAC Osteoarthritis Index, VAS-Pain, and General Comfort Scale-Short Form. The results showed a statistically significant decrease in WOMAC and VAS-P scores and a significant increase in comfort levels in all groups ($p<0.05$). In between-group comparisons, more pronounced improvements in pain, stiffness, and physical function indicators were observed in the black cumin oil group ($p<0.05$). However, no significant difference was found in comfort levels between the ginger oil group and the other groups ($p>0.05$). These findings suggest that hot compresses applied with black cumin oil and ginger oil may support symptom management in individuals with knee osteoarthritis, with the black cumin oil combination providing more pronounced improvements.

Keywords: Knee osteoarthritis, black cumin oil, ginger oil, hot compress, pain, comfort

ARTIFICIAL INTELLIGENCE–BASED DETECTION OF PERIAPICAL LESIONS IN TEETH WITH FIXED PROSTHESES: CURRENT APPLICATIONS AND DIAGNOSTIC CHALLENGES

Arş. Gör. Burak KÖSE
ORCID: 0009-0005-2029-2906
Gaziantep University, Faculty of Dentistry Department of Prosthetic Dentistry Gaziantep/Turkey
Uzm. Dt. Sümeyye YILMAZ
ORCID: 0000-0002-9030-5179
İnegöl Dental Hospital, Prosthodontics Department
Dr.Öğr.Üyesi Gökçe KEÇECİ
ORCID: 0000-0002-4180-4289
Kahramanmaras Sutcuimam University, Faculty of Dentistry Department of Prosthetic Dentistry Kahramanmaras/Turkey
Prof. Dr. Nermin DEMİRKOL
ORCID:0000-0002-1756-8749
Gaziantep University, Faculty of Dentistry Department of Prosthetic Dentistry Gaziantep/Turkey
Dr.Öğr. Üyesi İrem KARAGÖZOĞLU
ORCİD:0000-0003-3363-7916
Gaziantep University, Faculty of Dentistry Department of Prosthetic Dentistry Gaziantep/Turkey

ABSTRACT

Apical periodontitis is an inflammatory condition primarily caused by bacterial infection of the root canal system and is radiographically manifested as periapical lesions (PALs). PALs represent one of the most common pathological lesions of the jaws and constitute an important prognostic indicator for the outcome of root canal treatment. The absence of a periapical lesion or the presence of a smaller lesion has been associated with more favorable treatment outcomes and improved periapical healing. Therefore, accurate detection, assessment of lesion extent, and monitoring of the healing process are essential for successful clinical management.

The imaging modalities most frequently used for the evaluation of PALs include intraoral periapical radiographs (IOPAs), panoramic radiographs (orthopantomograms, OPGs), and cone-beam computed tomography (CBCT) when three-dimensional assessment is required. Although periapical radiography remains the standard imaging method in routine clinical practice, its two-dimensional nature limits diagnostic accuracy because of anatomical superimposition, geometric distortion, and reduced sensitivity for detecting small or early lesions. CBCT provides three-dimensional visualization and superior diagnostic accuracy; however, its routine use is limited by higher radiation exposure, increased cost, and restricted availability. Panoramic radiography offers the advantage of evaluating the entire dentition and jaws in a single image, but its sensitivity for detecting PALs remains relatively low. Consequently, suspicious findings on panoramic radiographs often require confirmation using periapical radiography or CBCT.

The interpretation of radiographic images is also influenced by observer-related factors, including clinical experience, fatigue, and interobserver variability, all of which may affect diagnostic accuracy. To address these limitations, artificial intelligence (AI)-based approaches have been increasingly adopted in dentistry. Machine learning techniques, particularly convolutional neural networks (CNNs), have demonstrated considerable potential for the

automated detection and assessment of periapical lesions on radiographic images, thereby improving the speed, consistency, and reliability of the diagnostic process.
Keywords: Periapical lesions, Artificial intelligence, Fixed prostheses, Dental radiography, Deep learning

SABIT PROTEZLI DIŞLERDE PERIAPIKAL LEZYONLARIN YAPAY ZEKÂ TABANLI TESPITI: GÜNCEL UYGULAMALAR VE TANISAL ZORLUKLAR

ÖZET

Apikal periodontitis, kök kanal sistemindeki bakteriyel enfeksiyon sonucu gelişen inflamatuvar bir hastalıktır ve radyografik olarak periapikal lezyonlar (PAL) şeklinde görülür. PAL'ler çenelerin en sık karşılaşılan patolojik lezyonları arasında yer almakta olup, kök kanal tedavisinin prognozunun belirlenmesinde önemli bir göstergedir. Özellikle lezyonun bulunmaması veya küçük boyutlu olması, tedavi başarısı ve periapikal iyileşme açısından daha olumlu sonuçlarla ilişkilendirilmektedir. Bu nedenle PAL'lerin doğru şekilde tespit edilmesi, boyutlarının değerlendirilmesi ve tedavi sonrası iyileşmenin izlenmesi klinik açıdan büyük önem taşımaktadır.

Periapikal lezyonların değerlendirilmesinde en sık kullanılan görüntüleme yöntemleri intraoral periapikal radyografiler (IOPA), panoramik radyografiler (OPG) ve gerektiğinde konik ışınlı bilgisayarlı tomografidir (CBCT). Periapikal radyografiler rutin klinik uygulamada standart yöntem olarak kabul edilmekle birlikte, iki boyutlu yapıları nedeniyle anatomik süperpozisyon, geometrik distorsiyon ve küçük lezyonların tespitinde sınırlılıklar göstermektedir. CBCT ise üç boyutlu görüntüleme sayesinde daha yüksek tanısal doğruluk sunmasına rağmen, daha yüksek radyasyon dozu, maliyet ve sınırlı erişilebilirlik nedeniyle rutin kullanımda tercih edilmemektedir. Panoramik radyografiler geniş anatomik alanı tek görüntüde değerlendirme avantajı sağlasa da, PAL tespitindeki duyarlılıkları düşüktür ve şüpheli olgularda periapikal radyografi veya CBCT ile doğrulanmaları önerilmektedir.

Radyografilerin yorumlanmasında gözlemci deneyimi, yorgunluk ve bireysel farklılıklar tanısal doğruluğu etkileyebilmektedir. Bu nedenle son yıllarda yapay zekâ tabanlı yöntemler diş hekimliğinde giderek daha fazla kullanılmaktadır. Makine öğrenmesi ve özellikle konvolüsyonel sinir ağları (CNN), radyografik görüntülerde periapikal lezyonların otomatik olarak tespit edilmesi ve değerlendirilmesinde yüksek doğruluk potansiyeli sunarak tanı sürecinin daha hızlı, tutarlı ve güvenilir hale getirilmesine katkı sağlamaktadır.
Anahtar kelimeler: Periapikal lezyonlar, Yapay zekâ, Sabit protezler, Dental radyografi, Derin öğrenme

MECHANICAL PROPERTIES OF DIRECTLY PRINTED CLEAR ALIGNERS: THE ROLE OF 3D PRINTER TYPE, RESIN MATERIAL, THICKNESS, AND GEOMETRY

Arş. Gör. Burak KÖSE
ORCID: 0009-0005-2029-2906
Gaziantep University, Faculty of Dentistry Department of Prosthetic Dentistry Gaziantep/Turkey
Uzm. Dt. Sümeyye YILMAZ
ORCID: 0000-0002-9030-5179
İnegöl Dental Hospital, Prosthodontics Department
Dr.Öğr.Üyesi Gökçe KEÇECİ
ORCID: 0000-0002-4180-4289
Kahramanmaras Sutcuimam University, Faculty of Dentistry Department of Prosthetic Dentistry Kahramanmaras/Turkey
Prof. Dr. Nermin DEMİRKOL
ORCID:0000-0002-1756-8749
Gaziantep University, Faculty of Dentistry Department of Prosthetic Dentistry Gaziantep/Turkey
Dr.Öğr. Üyesi İrem KARAGÖZOĞLU
ORCİD:0000-0003-3363-7916
Gaziantep University, Faculty of Dentistry Department of Prosthetic Dentistry Gaziantep/Turkey

ABSTRACT

A considerable proportion of adults are dissatisfied with the esthetic appearance of their teeth, leading to an increasing demand for esthetically oriented orthodontic treatments. Clear aligners have emerged as a valuable alternative to conventional fixed orthodontic appliances owing to their removable nature and superior esthetics. In addition, they offer several clinical advantages, including improved oral hygiene, a reduced risk of dental caries and white spot lesions, less pain during the initial stages of treatment, and fewer clinical appointments. However, they also present certain limitations, such as high manufacturing costs, dependence on patient compliance, and limited effectiveness in the management of specific malocclusions.

To overcome these limitations, digital manufacturing workflows have advanced rapidly, with particular emphasis on in-office production and direct three-dimensional (3D) printing technologies. Unlike the conventional thermoforming workflow, which involves multiple steps including model printing, thermoforming, and trimming, direct 3D printing eliminates these intermediate procedures, thereby providing a more standardized, efficient, and cost-effective manufacturing process. Furthermore, direct 3D printing offers several advantages, including reduced manufacturing errors, enhanced control over aligner thickness, and greater flexibility for clinicians to manage the design and production process.

The clinical performance of directly printed aligners largely depends on the mechanical properties of the material used. Factors such as resin type, aligner thickness, and geometry directly influence the effectiveness of orthodontic force delivery and overall treatment outcomes. Nevertheless, the effects of 3D printer type, resin material, aligner thickness, and geometry on the mechanical properties of directly printed aligners have not yet been fully elucidated. Current studies have primarily focused on print quality and dimensional accuracy.

Although stereolithography (SLA), digital light processing (DLP), and liquid crystal display (LCD) technologies are the most widely used additive manufacturing systems in dentistry, evidence regarding their influence on the mechanical performance of directly printed clear aligners remains limited. Therefore, further research is required to clarify the contribution of these variables to the mechanical behavior and clinical performance of directly printed clear aligners.
Keywords: Clear aligner, 3D printer, Mechanical strength, Resin, Biomechanics

3D YAZICI TIPI, REÇINE MALZEMESI, KALINLIĞI VE GEOMETRININ DOĞRUDAN BASKILI ŞEFFAF HIZALAYICILARIN MEKANIK ÖZELLIKLERINE ETKISI

ÖZET

Yetişkin bireylerin büyük bir kısmı dişlerinin estetik görünümünden memnun değildir ve bu durum estetik odaklı ortodontik tedavilere olan talebi artırmıştır. Şeffaf hizalayıcılar, çıkarılabilir ve estetik yapıları sayesinde geleneksel sabit ortodontik apareylere önemli bir alternatif olarak öne çıkmaktadır. Ayrıca daha iyi ağız hijyeni sağlamaları, çürük ve beyaz nokta lezyonu riskini azaltmaları, tedavinin ilk dönemlerinde daha az ağrıya neden olmaları ve daha az klinik randevusu gerektirmeleri gibi avantajlar sunmaktadır. Bununla birlikte, yüksek üretim maliyetleri, hasta uyumuna bağımlılık ve bazı maloklüzyonlarda sınırlı kullanım gibi dezavantajları da bulunmaktadır.

Bu sınırlılıkların giderilmesi amacıyla dijital üretim süreçleri hızla gelişmiş ve özellikle şirket içi üretim ile doğrudan 3D baskı teknolojileri ön plana çıkmıştır. Geleneksel termoform yönteminde model baskısı, termoform ve düzeltme gibi çok sayıda işlem basamağı bulunurken, doğrudan 3D baskı bu ara aşamaları ortadan kaldırarak daha standart, hızlı ve ekonomik bir üretim süreci sunmaktadır. Ayrıca üretim hatalarını azaltması, hizalayıcı kalınlığının daha hassas kontrol edilmesini sağlaması ve klinisyenlerin üretim sürecini doğrudan yönetebilmesi önemli avantajlar arasında yer almaktadır.

Doğrudan baskılı hizalayıcıların klinik başarısı büyük ölçüde kullanılan materyalin mekanik özelliklerine bağlıdır. Reçine tipi, hizalayıcı kalınlığı ve geometrisi ortodontik kuvvetlerin etkinliğini ve tedavi başarısını doğrudan etkileyebilmektedir. Bununla birlikte, mevcut literatürde 3D yazıcı tipi, reçine materyali, hizalayıcı kalınlığı ve geometrisinin mekanik özellikler üzerindeki etkileri yeterince açıklığa kavuşturulamamıştır. Güncel çalışmalar daha çok baskı kalitesi ve boyutsal doğruluğa odaklanmış olup, diş hekimliğinde yaygın olarak kullanılan stereolitografi (SLA), dijital ışık işleme (DLP) ve sıvı kristal ekran (LCD) teknolojilerinin doğrudan baskılı şeffaf hizalayıcıların mekanik performansı üzerindeki etkilerine ilişkin kanıtlar hâlen sınırlıdır. Bu nedenle, söz konusu değişkenlerin mekanik performansa katkısını ortaya koyacak ileri araştırmalara ihtiyaç vardır.
Anahtar kelimeler: Hizalayıcı, 3D yazıcı, Dayanım, Reçine, Biyomekanik

PERİ-İMPLANT KERATİNİZE MUKOZA YETERSİZLİĞİNDE SERBEST DİŞETİ GREFTİ İLE YUMUŞAK DOKU YÖNETİMİ: OLGU SUNUMU

Uzm. Dt. Züleyha Pamuk
Gaziantep Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Periodontoloji Anabilim Dalı, Gaziatep, Türkiye
ORCID ID: 0009-0002-8243-2175
Prof. Dr. Kamile Erciyas
Gaziantep Üniversitesi, Diş Hekimliği Fakültesi, Periodontoloji Anabilim Dalı, Gaziantep, Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-9940-0423

ÖZET

Dental implantların çevresinde yeterli keratinize mukoza varlığı, peri-implant doku sağlığının sürdürülmesi ve hastaların etkin oral hijyen sağlayabilmesi açısından önem taşımaktadır. Yetersiz keratinize mukoza genişliği; plak kontrolünde güçlük, fırçalama sırasında rahatsızlık, mukozal inflamasyon ve Yumuşak doku çekilmesi gibi olumsuz klinik durumlarla ilişkilendirilmektedir. Serbest dişeti grefti, implant çevresindeki keratinize mukoza genişliğinin artırılması ve vestibül derinliğinin iyileştirilmesi amacıyla kullanılan öngörülebilir mukogingival cerrahi yöntemlerden biridir. Bu olgu sunumunun amacı, peri-implant keratinize mukoza yetersizliği bulunan bir hastada uygulanan serbest dişeti grefti operasyonunun klinik sonuçlarını takip sürecinde değerlendirmektir.

Sistemik olarak sağlıklı 50 yaşındaki kadın hasta, implant bölgesinde fırçalama sırasında ağrı ve kanama şikâyetiyle kliniğimize başvurmuştur. Klinik muayenede ilgili implant bölgesinde keratinize mukoza genişliğinin yetersiz olduğu ve mukozal inflamasyon bulunduğu tespit edilmiştir. Peri-implant keratinize mukoza genişliğini artırmak amacıyla palatal bölgeden elde edilen serbest dişeti grefti ile yumuşak doku augmentasyonu gerçekleştirilmiştir. Greft hazırlanan alıcı yatağa adapte edilerek stabilize edilmiş ve postoperatif iyileşme komplikasyonsuz tamamlanmıştır. Hasta düzenli klinik kontrollerle takip edilmiştir.

Takip değerlendirmesinde implant çevresindeki keratinize mukoza genişliğinde klinik olarak belirgin bir artış gözlenmiş ve elde edilen yumuşak doku kazanımının korunduğu görülmüştür. Mukozal inflamasyonda azalma ile birlikte hastanın fırçalama sırasındaki rahatsızlığının azaldığı ve oral hijyen uygulamalarını daha rahat ve etkin şekilde sürdürebildiği gözlenmiştir. Bu olgunun bulguları, peri-implant keratinize mukoza yetersizliği bulunan hastalarda serbest dişeti grefti uygulamasının keratinize mukoza genişliğinin artırılması, oral hijyenin kolaylaştırılması ve peri-implant yumuşak doku koşullarının iyileştirilmesinde etkili bir tedavi seçeneği olabileceğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Dental implant, keratinize mukoza, serbest dişeti grefti, yumuşak doku augmentasyonu, peri-implant sağlık

SOFT TISSUE MANAGEMENT WITH FREE GINGIVAL GRAFT IN PERI-IMPLANT KERATINIZED MUCOSA DEFICIENCY: A CASE REPORT

ABSTRACT

The presence of an adequate width of keratinized mucosa around dental implants plays a crucial role in maintaining peri-implant tissue health and enabling patients to perform effective oral hygiene measures. Insufficient keratinized mucosa width is associated with clinical complications such as difficulty in plaque control, discomfort during brushing, mucosal inflammation, and soft tissue recession. Free gingival graft is a predictable mucogingival surgical procedure utilized to increase the width of keratinized mucosa and improve vestibule depth around implants. This case report aims to evaluate the clinical outcomes and follow-up process of a free gingival graft operation performed in a patient with peri-implant keratinized mucosa deficiency.

A systemically healthy 50-year-old female patient presented to our clinic complaining of pain and bleeding during tooth brushing in the implant region. Clinical examination revealed an inadequate width of keratinized mucosa and mucosal inflammation at the relevant implant site. To increase the peri-implant keratinized mucosa width, soft tissue augmentation was performed using a free gingival graft harvested from the palatal region. The graft was adapted and stabilized onto the prepared recipient bed, and postoperative healing completed without complications. The patient was followed up with regular clinical examinations.

Follow-up evaluations demonstrated a clinically significant increase in the width of peri-implant keratinized mucosa, with the achieved soft tissue gain being well-maintained. A reduction in mucosal inflammation was observed alongside decreased discomfort during brushing, allowing the patient to maintain oral hygiene practices more comfortably and effectively.The findings of this case demonstrate that free gingival graft application is an effective treatment option for increasing keratinized mucosa width, facilitating oral hygiene, and improving peri-implant soft tissue conditions in patients presenting with peri-implant keratinized mucosa deficiency.

Keywords: Dental implant; Keratinized mucosa; Free gingival graft; Soft tissue augmentation; Peri-implant health

ENDODONTİK TEDAVİLİ DAİMİ MOLARLARDA KORONAL RESTORASYON BÜTÜNLÜĞÜNÜN UZUN DÖNEM PERİAPİKAL İYİLEŞMEYE ETKİSİ: DÖRT YILLIK OLGU SUNUMU

Öğr. Gör. İrem OKUMUŞ
Recep Tayyip Erdogan University, Faculty of Dentistry, Department of Pedodontics, 53020, Merkez,Rize, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-1471-4605

ÖZET
Bu olgu sunumunda, geniş periapikal lezyonlara sahip iki daimî mandibular moların endodontik tedavi sonrası dört yıllık klinik ve radyografik seyrinin sunulması ve koronal restorasyon bütünlüğünün uzun dönem başarıdaki öneminin vurgulanması amaçlandı. Kliniğimize başvuran 12 yaşında kız hastanın mandibular sol birinci daimî molar dişinde (36), daha önce uygulanmış kök kanal tedavisini takiben koronal restorasyonun kaybına bağlı yeniden enfeksiyon ve geniş periapikal radyolüsent lezyon saptandı. Dişe endodontik yeniden tedavi uygulandı. Kök kanal preparasyonu ve irrigasyon işlemlerinin ardından kanallar gutta-perka ve epoksi rezin esaslı kök kanal patı AH Plus (Dentsply Sirona, Ballaigues, Switzerland) kullanılarak dolduruldu. Koronal restorasyon EQUIA Forte HT (GC Corporation, Tokyo, Japan) cam-hibrit restoratif materyal ile gerçekleştirildi. İleri derecede koronal madde kaybı nedeniyle uzun dönem koronal restorasyon amacıyla paslanmaz çelik kron uygulanması planlandı. Mandibular sağ birinci daimi molar dişte (46) ise derin çürüğe bağlı pulpa nekrozu ve geniş periapikal radyolüsent lezyon saptandı. Dişe kök kanal tedavisi uygulandı ve kök kanalları gutta-perka ile AH Plus (Dentsply Sirona, Ballaigues, Switzerland) kullanılarak doldurulduktan sonra kalıcı koronal restorasyonu tamamlandı. Hastanın dental tedavilerinin bu aşamaya ulaşması yaklaşık altı ay sürdü. Kök kanal dolgularının tamamlanmasını takiben birinci ve üçüncü aylardaki radyografik kontrollerde her iki dişte de periapikal radyolüsenside belirgin azalma ve kemik iyileşmesi gözlendi. Ancak hasta sonraki randevularına devam etmediğinden, 36 numaralı diş için planlanan paslanmaz çelik kron uygulanamadı. Dört yıl sonraki kontrolde 46 numaralı dişin asemptomatik olduğu ve periapikal lezyonun radyografik olarak tamamen iyileştiği görüldü. Buna karşılık 36 numaralı dişte koronal restorasyonun kaybedildiği, dişin yeniden enfekte olduğu ve periapikal radyolüsent lezyonun tekrar geliştiği saptandı. Aynı hastada iki endodontik tedavili moların farklı uzun dönem seyri, periapikal iyileşmenin sürdürülebilmesinde kök kanal tedavisinin yanı sıra koronal restorasyon bütünlüğünün de önemli olduğunu göstermektedir. Özellikle ileri madde kayıplı dişlerde nihai restorasyonun zamanında tamamlanması ve düzenli takip uzun dönem başarı açısından önem taşımaktadır.
Anahtar kelimeler: Apikal lezyon, kök kanal tedavisi, retreatment, periapikal apse

THE EFFECT OF CORONAL RESTORATION INTEGRITY ON LONG-TERM PERIAPICAL HEALING IN ENDODONTICALLY TREATED PERMANENT MOLARS: A FOUR-YEAR CASE REPORT

ABSTRACT
This case report aims to present the clinical and radiographic course of two permanent mandibular molars with extensive periapical lesions after endodontic treatment at four years and to highlight the importance of coronal restoration integrity in long-term success. A 12-year-old girl presented to our clinic with re-infection and an extensive periapical radiolucent lesion in her left mandibular first permanent molar (36) following a previous root canal treatment and loss of coronal restoration. Endodontic re-treatment was performed on the tooth. After root

canal preparation and irrigation, the canals were filled using gutta-percha and epoxy resin-based root canal sealant AH Plus (Dentsply Sirona, Ballaigues, Switzerland). Coronal restoration was performed with EQUIA Forte HT (GC Corporation, Tokyo, Japan) glass-hybrid restorative material. Due to the advanced coronal substance loss, a stainless steel crown was planned for long-term coronal restoration. In the mandibular right first permanent molar (46), pulp necrosis due to deep caries and a large periapical radiolucent lesion were detected. Root canal treatment was performed on the tooth, and after the root canals were filled with gutta-percha using AH Plus (Dentsply Sirona, Ballaigues, Switzerland), the permanent coronal restoration was completed. The patient's dental treatments reached this stage in approximately six months. Following the completion of root canal fillings, radiographic controls at the first and third months showed a significant reduction in periapical radiolucency and bone healing in both teeth. However, the planned stainless steel crown for tooth number 36 could not be applied because the patient did not attend subsequent appointments. At the four-year follow-up, tooth number 46 was found to be asymptomatic, and the periapical lesion had healed completely radiographically. In contrast, it was determined that the coronal restoration in tooth number 36 had been lost, the tooth had become reinfected, and the periapical radiolucent lesion had developed again. The different long-term outcomes of two endodontically treated molars in the same patient demonstrate that both root canal treatment and coronal restoration integrity are important for maintaining periapical healing. Especially in teeth with advanced substance loss, timely completion of the final restoration and regular follow-up are crucial for long-term success.

Keywords: Apical lesion, root canal treatment, retreatment, periapical abscess

TRAVMAYA UĞRAMIŞ DAİMİ KESİCİ DİŞLERDE REJENERATİF ENDODONTİK TEDAVİ, İNTRAKORONAL BEYAZLATMA VE ORTODONTİK TEDAVİNİN MULTİDİSİPLİNER YÖNETİMİ

Öğr. Gör. İrem OKUMUŞ
Recep Tayyip Erdogan University, Faculty of Dentistry, Department of Pedodontics, 53020, Merkez,Rize, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-1471-4605

ÖZET
Bu olgu sunumunda amaç, dental travma sonrasında farklı tedavi yaklaşımları uygulanan ve rejeneratif endodontik tedavi (RET) sonrası intrakoronal beyazlatma ile ortodontik tedavi gereksinimi bulunan bir hastanın 6 yıllık klinik ve radyografik takip sonuçlarını sunmaktır. Altı yaşındaki kız hasta, düşmeye bağlı dental travmadan 48 saat sonra kliniğimize başvurdu. Klinik ve radyografik değerlendirmede 41 ve 21 numaralı dişlerde komplike kron kırığı saptandı. 41 numaralı dişe apeksifikasyon protokolünü takiben kök kanal tedavisi (AH Plus Dentsply Sirona, Ballaigues, SWİTZERLAND), 21 numaralı dişe direkt pulpa kuafajı (IMICRYL, Konya, Türkiye) sonrası kompozit restorasyon (Tokuyama Dental Corporation, Tokyo, JAPAN) ve dişe direkt kompozit restorasyon uygulandı. Takipte 21 numaralı dişte hafif renk değişikliği gözlenmesine ve başlangıçta soğuk testine pozitif yanıt alınmasına rağmen, bir hafta sonra fistül gelişti. Kök gelişiminin tamamlanmamış olması ve apeksin açık olması nedeniyle 21 numaralı dişe MTA (NeoPUTTY, Avalon Biomed, USA) kullanılarak RET uygulandı. RET'ten bir yıl sonra persiste eden renk değişikliği nedeniyle intrakoronal beyazlatma gerçekleştirildi. Takip sürecinde maksiller darlık saptanması üzerine hasta Ortodonti Anabilim Dalı'na konsülte edildi ve 10 yaşında hızlı maksiller genişletme (RME) tedavisi uygulandı. RET uygulanmış 21 numaralı diş, aktif ortodontik tedavi ve pekiştirme döneminde olası kök rezorpsiyonu açısından üç aylık klinik ve radyografik kontrollerle izlendi. Ortodontik tedavi ve pekiştirme döneminde 21 numaralı dişte klinik veya radyografik patoloji ve kök rezorpsiyonu saptanmadı. Uzun dönem radyografik değerlendirmede belirgin kök uzaması veya tam apikal kapanma gözlenmemesine rağmen, diş asemptomatik ve fonksiyonel olarak ağızda kaldı. Travmadan sonraki 6. yıl kontrolünde ilgili dişlerin tümü klinik olarak asemptomatikti ve takipleri devam etmekteydi. RET uygulanmış açık apeksli genç daimî dişlerde kök gelişimi sınırlı kalsa dahi uzun dönem klinik stabilite sağlanabilir ve uygun takip altında ortodontik tedavi kök rezorpsiyonu gelişmeden uygulanabilir. Multidisipliner yaklaşım, travmaya uğramış genç daimî dişlerin uzun dönem korunmasında önemlidir.
Anahtar kelimeler: Dental travma, rejeneratif endodontik tedavi, intrakoronal beyazlatma, hızlı maksiller genişletme

MULTIDISCIPLINARY MANAGEMENT OF REGENERATIVE ENDODONTIC TREATMENT, INTRACORONAL BLEACHING, AND ORTHODONTIC TREATMENT IN TRAUMATIZED PERMANENT INCISOR TEETH

ABSTRACT
This case report aims to present the 6-year clinical and radiographic follow-up results of a patient who underwent different treatment approaches after dental trauma and required orthodontic treatment with intracoronal whitening after regenerative endodontic treatment (RET). A six-year-old girl presented to our clinic 48 hours after a fall-related dental trauma. Clinical and radiographic evaluation revealed complicated crown fractures in teeth 41 and 21. Tooth 41 underwent root canal treatment following an apexification protocol (AH Plus

Dentsply Sirona, Ballaigues, SWITZERLAND), tooth 21 underwent direct pulp capping (IMICRYL, Konya, TÜRKİYE) followed by composite restoration (Tokuyama Dental Corporation, Tokyo, JAPAN), and direct composite restoration. During follow-up, a slight discoloration was observed in tooth 21, and although a positive response was initially obtained on the cold test, a fistula developed one week later. Due to incomplete root development and an open apex, RET was performed on tooth number 21 using an MTA (NeoPUTTY, Avalon Biomed, USA). One year after RET, intracoronal whitening was performed due to persistent discoloration. Upon detection of maxillary constriction during follow-up, the patient was referred to the Department of Orthodontics and underwent rapid maxillary expansion (RME) at age 10. Tooth number 21, which had undergone RET, was monitored with three-month clinical and radiographic controls for possible root resorption during active orthodontic treatment and retention. No clinical or radiographic pathology or root resorption was detected in tooth number 21 during orthodontic treatment and retention. Although no significant root elongation or complete apical closure was observed in long-term radiographic evaluation, the tooth remained asymptomatic and functionally present in the mouth. During the 6-year follow-up after the trauma, all affected teeth were clinically asymptomatic and follow-up continued. Even with limited root development in young permanent teeth with open apexes that have undergone RET, long-term clinical stability can be achieved, and with appropriate follow-up, orthodontic treatment can be applied before root resorption occurs. A multidisciplinary approach is crucial for the long-term preservation of traumatized young permanent teeth.

Keywords: Dental trauma, regenerative endodontic treatment, intracoronal bleaching, rapid maxillary expansion.

2026 SOSYAL BİLGİLER DERSİ ÖĞRETİM PROGRAMINDA SÖZLÜ TARİH

İlker Dere
Prof. Dr.., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi
Ceren Hatipoğlu
Arş. Gör., Ordu Üniversitesi

ÖZET
Sözlü tarih, öğrencilerin geçmiş ile günümüz arasında bağlantı kurmalarını, değişim ve sürekliliği günlük yaşam örnekleri üzerinden anlamlandırmalarını ve geçmişe ilişkin bilgileri yaşayan tanıkların deneyimlerinden hareketle araştırmalarını sağlayan yöntemlerden biridir. Sosyal bilgiler dersinin birey, toplum, kültür ve geçmiş arasındaki ilişkileri ele alan disiplinlerarası yapısı, sözlü tarihin bu ders kapsamında kullanılmasına elverişli bir ortam sunmaktadır. Bu araştırmada, 2026 Sosyal Bilgiler Dersi Öğretim Programı'nda sözlü tarihin yerini belirlemek ve sözlü tarih yöntemiyle gerçekleştirilebilecek öğrenme çıktılarını ortaya koymak amaçlanmıştır. Araştırma, nitel araştırma yöntemlerinden biri olan doküman incelemesi yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın veri kaynağını Millî Eğitim Bakanlığı (MEB) tarafından yayımlanan 2026 Sosyal Bilgiler Dersi Öğretim Programı oluşturmaktadır. Veriler içerik analizi yoluyla çözümlenmiştir. Analiz sürecinde öncelikle programda sözlü tarihin doğrudan yer aldığı öğrenme çıktıları ve öğrenme-öğretme uygulamaları belirlenmiş, ardından sözlü tarihin özellikleri doğrultusunda bu yöntemle öğretilebilecek diğer öğrenme çıktıları tespit edilmiştir. Araştırmanın bulguları, sözlü tarih kavramının doğrudan 5. Sınıf Evimiz Dünya öğrenme alanında yer aldığını göstermektedir. Bununla birlikte, programda doğrudan sözlü tarih yönteminin kullanılmasına imkân sağlayan öğrenme çıktıları ile öğrenme-öğretme uygulamalarının da yer aldığı belirlenmiştir. Özellikle geçmişten günümüze oyun ve oyuncaklar, aile tarihi, yakın çevrede yaşanan afetler ile doğal ve beşerî çevrede meydana gelen değişimler sözlü tarih yöntemiyle ele alınabilecek konular olarak öne çıkmaktadır. Bu konuların öğrencilerin yaşayan tanıklardan bilgi toplamalarına, farklı kaynaklardan elde edilen bilgileri ilişkilendirmelerine ve değişimi ve sürekliliği günlük yaşam deneyimleri üzerinden incelemelerine imkân sağlayabileceği görülmüştür. Sonuç olarak, araştırma 2026 Sosyal Bilgiler Dersi Öğretim Programı'nın sözlü tarih açısından sunduğu olanakları ortaya koyması ve öğretmenlere sözlü tarihin farklı sınıf düzeyleri ve öğrenme alanlarında kullanılmasına yönelik uygulama örnekleri sunması bakımından katkı sağlayacaktır.
Anahtar Kelimeler: *Sözlü tarih, sosyal bilgiler öğretim programı, değişim ve süreklilik, aile tarihi*

ORAL HISTORY IN THE 2026 SOCIAL STUDIES PROGRAM

ABSTRACT
Oral history enables students to connect the past and present, make sense of change and continuity through everyday examples, and investigate the past through the experiences of living witnesses. The interdisciplinary nature of social studies, which addresses the relationships among individuals, society, culture, and the past, provides a suitable context for using oral history in education. We aimed to determine the place of oral history in the 2026 Social Studies Curriculum and identify learning outcomes addressable through this method. We employed document analysis, a qualitative research method. Our data source consisted of the 2026 Social Studies Curriculum published by the Ministry of National Education (MoNE). We analyzed the data using content analysis. First, we identified learning outcomes and teaching-

learning practices that explicitly included oral history. Subsequently, we determined other applicable learning outcomes based on the characteristics of oral history. Our findings indicate that the Grade 5 learning area, *Our Home, the World*, explicitly includes the concept of oral history. Additionally, we found that the curriculum includes learning outcomes and teaching-learning practices that provide opportunities to use oral history, even when not explicitly mentioned. Games and toys from the past to the present, family history, local community disasters, and changes in the natural and human environment emerged as topics suitable for oral history. We observed that these topics have the potential to enable students to gather information from living witnesses, relate information obtained from different sources, and examine change and continuity through everyday life experiences. In conclusion, this study reveals the opportunities the 2026 Social Studies Curriculum offers for using oral history. It provides teachers with practical examples of how to apply oral history across various grade levels and learning areas.

Keywords: *Oral history, social studies curriculum, change and continuity, family history*

2026 ORTAÖĞRETİM TARİH ÖĞRETİM PROGRAMLARINDA SÖZLÜ TARİH

İlker Dere
Prof. Dr.., Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi
Ceren Hatipoğlu
Arş. Gör., Ordu Üniversitesi

ÖZET
Sözlü tarih, öğrencilerin geçmişe ilişkin bilgileri yaşayan tanıkların deneyimlerinden hareketle araştırmalarına, farklı tarihsel kaynakları sorgulamalarına ve geçmiş ile günümüz arasında bağlantı kurmalarına imkân sağlayan yöntemlerden biridir. Tarih öğretiminin geçmişte yaşanan olay ve olguları kanıtlara dayalı olarak anlamlandırmayı amaçlayan yapısı, sözlü tarihin öğretim sürecinde kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Araştırmada, 2026 lise tarih öğretim programlarında sözlü tarihin yerini belirlemek ve sözlü tarih yöntemiyle ele alınabilecek öğrenme çıktıları ile öğrenme-öğretme uygulamalarını ortaya koymak amaçlanmıştır. Araştırma, nitel araştırma yöntemlerinden biri olan doküman incelemesi yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Araştırmanın veri kaynaklarını Millî Eğitim Bakanlığı (MEB) tarafından yayımlanan 2026 Tarih Dersi Öğretim Programı (9, 10, 11. sınıflar) ile 2026 T.C. İnkılap Tarihi ve Atatürkçülük Dersi Öğretim Programı (12. sınıf) oluşturmaktadır. Veriler içerik analizi yoluyla incelenmiştir. Analiz sürecinde 9, 10, 11 ve 12. sınıf düzeylerindeki öğrenme çıktıları, içerik çerçeveleri, öğrenme-öğretme uygulamaları ve farklılaştırma bölümleri, sözlü tarihin temel özellikleri doğrultusunda incelenmiştir. Araştırmadan elde edilen ilk bulgular, Tarih Dersi Öğretim Programı'nda sözlü tarihe doğrudan yer verilmediğini, buna karşılık T.C. İnkılap Tarihi ve Atatürkçülük Dersi Öğretim Programı'nda sözlü tarihin doğrudan bir öğrenme-öğretme uygulaması olarak önerildiğini göstermektedir. Bununla birlikte 9, 10 ve 11. sınıf programında tarihsel kaynak ve kanıtların sorgulanması, geçmiş ile günümüz arasında bağlantı kurulması, değişim ve sürekliliğin incelenmesi ve yerel tarih çalışmalarına yer verilmesi gibi unsurların sözlü tarih uygulamalarına uygun bir potansiyel taşıdığı belirlenmiştir. 12. sınıf programında ise yakın tarih, göç, günlük yaşam ve toplumsal değişim gibi konuların sözlü tarihin uygulanması açısından doğrudan imkân sağladığı görülmüştür. Sonuç olarak bulgular, sözlü tarihin ortaöğretim tarih öğretim programlarındaki yerinin sınıf düzeylerine göre farklılaştığını ve özellikle yakın tarihin ele alındığı 12. sınıf düzeyinde daha görünür hâle geldiğini göstermektedir. Araştırmanın, ortaöğretim tarih öğretiminde sözlü tarihin kullanım olanaklarının belirlenmesine ve uygulamaya yönelik çalışmaların geliştirilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.
Anahtar Kelimeler: *Sözlü tarih, tarih eğitimi, ortaöğretim, tarih öğretim programı, T.C. İnkılap Tarihi ve Atatürkçülük*

ORAL HISTORY IN THE 2026 HIGH SCHOOL HISTORY CURRICULA

ABSTRACT
Oral history enables students to investigate the past through living witnesses' experiences, examine various historical sources, and connect the past with the present. The nature of history education, which aims to make sense of past events and phenomena based on evidence, provides a suitable context for using oral history in the teaching process. This study aimed to determine the place of oral history in the 2026 high school history curricula and to identify the learning outcomes and teaching-learning practices that educators can address through the oral history method. We employed document analysis, a qualitative research method. Data sources included

the 2026 History Curriculum for Grades 9, 10, and 11 and the 2026 History of the Turkish Revolution and Kemalism Curriculum for Grade 12, both published by the Ministry of National Education (MoNE). We analyzed the data using content analysis. Specifically, we examined the learning outcomes, content frameworks, teaching-learning practices, and differentiation sections of Grades 9 through 12 based on the main characteristics of oral history. Preliminary findings indicate that the History Curriculum does not explicitly include oral history, whereas the History of the Turkish Revolution and Kemalism Curriculum directly recommends it as a teaching-learning practice. Additionally, the Grades 9, 10, and 11 curricula feature elements that provide opportunities for oral history practices, such as examining historical sources and evidence, connecting the past and present, investigating change and continuity, and conducting local history studies. In the Grade 12 curriculum, topics such as recent history, migration, everyday life, and social change directly facilitate the use of oral history. In conclusion, findings demonstrate that the role of oral history in high school curricula varies across grade levels and becomes particularly visible in Grade 12, which addresses recent history more extensively. We expect this study to contribute to identifying opportunities for oral history use in high school history education and to developing practice-oriented studies.

Keywords: *Oral history, history education, high school education, history curriculum, History of the Turkish Revolution and Kemalism*

RUH SAĞLIĞI ÇALIŞANLARINDA ANTİSOSYAL DAVRANIŞIN DEMOGRAFİK VE PSİKOSOSYAL DEĞİŞKENLER AÇISINDAN İNCELENMESİ

Klinik Psikolog Ömer YILMAZ
Istanbul Arel University, Graduate School of Education, Department of Psychology, PhD Candidate, Istanbul, Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-9278-9878

ÖZET
Antisosyal davranış, içinde yaşadığı toplumun normlarına ve kurallarına uyumlu yaşamayan, ötekilerin haklarını ihlal edebilen ve kişilerarası iletişimde birçok soruna yol açabilen davranış örüntülerinin tamamını kapsayan çok boyutlu bir kavramdır. Antisosyal davranışların ortaya çıkmasında ve kişilik özellikleri üzerinde yer tutmasında erken dönem yaşam deneyimleri, içine doğulan ev, sosyoekonomik düzey gibi çeşitli süreçler etkilidir. Antisosyal davranışlar sergileyen bireylerin dürtüselliği, saldırganlığı, empati yoksunluğu, sık sık yalan söylemesi ve toplumsal kurallara uymakta güçlük yaşaması hem sosyal hem de mesleki işlevselliğini de etkilemektedir. Ruh sağlığı çalışanlarının hasta veya danışanlarıyla güvene dayalı bir ilişki inşa etmeleri, mesleki sınırlarını muhafaza etmeleri ve etiğe dayalı çalışma prensipleri geliştirmeleri göz önünde bulundurulduğunda, bu meslek grubundaki antisosyal davranış eğilimlerinin ve bu eğilimlerle ilişkili durumların incelenmesi önem taşımaktadır. Bu araştırmanın amacı, ruh sağlığı çalışanlarının antisosyal davranış düzeylerini çeşitli demografik ve psikososyal değişkenler açısından incelemektir. Araştırmanın çalışma grubunu, yaşları 25-55 arasında değişen psikiyatrist, psikolog, psikolojik danışman, psikiyatri hemşiresi, sosyal hizmet uzmanı ve aile hekiminden oluşan 252 ruh sağlığı profesyoneli oluşturmaktadır. Araştırma verileri Sosyodemografik Bilgi Formu, ve Antisosyal Davranış Ölçeği aracılığıyla toplanmıştır. Verilerin analizinde, bağımsız örneklem t-testi ve tek yönlü varyans analizi (ANOVA) uygulanmıştır. Araştırma bulguları incelendiğinde ruh sağlığı çalışanlarının antisosyal davranış düzeyleri, cinsiyet, yaş, meslek türü, dini inanç, dindarlık düzeyi ve siyasi yönelim açısından anlamlı düzeyde farklılık göstermediği sonucuna ulaşılmıştır. Buna karşılık sosyoekonomik düzey azaldıkça, antisosyal davranış eğiliminin arttığı görülmüştür. Siyasi görüş ve psikiyatrik tanı açısından gruplar arasında anlamlı farklılıklar tespit edilmekle birlikte, elde edilen bulguların, ruh sağlığı çalışanlarında antisosyal davranışlarla ilişkili özelliklerin anlaşılmasında öz farkındalığın geliştirilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.
Anahtar kelimeler: Antisosyal davranış, ruh sağlığı çalışanları, psikososyal faktörler

EXAMINATION OF ANTISOCIAL BEHAVIOR AMONG MENTAL HEALTH PROFESSIONALS IN TERMS OF DEMOGRAPHIC AND PSYCHOSOCIAL VARIABLES

ABSTRACT
Antisocial behavior is a multidimensional construct encompassing patterns of behavior that deviate from societal norms and rules, may violate the rights of others, and can lead to various difficulties in interpersonal relationships. The development of antisocial behavior and its manifestation as part of an individual's personality characteristics may be influenced by a range of factors, including early life experiences, family environment, and socioeconomic status. Characteristics associated with antisocial behavior, such as impulsivity, aggression, lack of empathy, frequent lying, and difficulty adhering to social norms, may adversely affect both social and occupational functioning. Given that mental health professionals are expected to establish trust-based relationships with their patients or clients, maintain professional

boundaries, and practice in accordance with ethical principles, examining antisocial behavioral tendencies and the factors associated with these tendencies within this professional group is particularly important.

This study aimed to examine levels of antisocial behavior among mental health professionals in relation to various demographic and psychosocial variables. The study sample consisted of 252 mental health professionals aged 25–55 years, including psychiatrists, psychologists, psychological counselors, psychiatric nurses, social workers, and family physicians. Data were collected using a Sociodemographic Information Form and the Antisocial Behavior Scale. Independent-samples *t* tests and one-way analysis of variance (ANOVA) were used for statistical analysis.

The findings indicated that levels of antisocial behavior among mental health professionals did not differ significantly according to gender, age, profession, religious affiliation, level of religiosity, or political orientation. In contrast, lower socioeconomic status was associated with higher levels of antisocial behavior. Significant differences in antisocial behavior were also identified across political views and psychiatric diagnostic status. These findings may contribute to a better understanding of the characteristics associated with antisocial behavior among mental health professionals and may support the development of greater self-awareness within professional practice.

Keywords: Antisocial behavior, mental health professionals, psychosocial factors

BURSA İLİ KELES İLÇESİNDE KARASAL MEMELİ FAUNASININ FOTOKAPAN YÖNTEMİYLE BELİRLENMESİ

Burhan GÜL
Trakya University, Graduate School of Natural and Applied Sciences, Department of Biology, Edirne, Türkiye
ORCID ID: 0009-0003-7975-0380
Olcay IŞIK
Bursa Technical University, Graduate School of Graduate Studies, Department of Forest Engineering, Bursa, Türkiye
ORCID ID: 0009-0007-3141-4977
Ahmet Furkan İMAMOĞLU
Bursa Technical University, Graduate School of Graduate Studies, Department of Forest Engineering, Bursa, Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-6530-2518

ÖZET
Bursa ili Keles ilçesi; geniş orman alanları, farklı yükselti basamakları, doğal su kaynakları ve çeşitli habitat tipleriyle birçok yaban memelisi için uygun yaşam alanları barındırmaktadır. Bu çalışmanın amacı, Keles ilçesinde başta büyük memeliler olmak üzere karasal memeli türlerinin varlığının fotokapan yöntemiyle belirlenmesi ve çalışma alanındaki dağılımlarını ortaya koymaktır. Arazi çalışmaları yaklaşık 45 günlük örnekleme döneminde yürütülmüş ve farklı habitat özelliklerini temsil edecek şekilde toplam 13 fotokapan istasyonu kurulmuştur. İstasyonların seçiminde habitat yapısı, su kaynakları, hayvan geçiş güzergâhları ile ayak izi, dışkı ve benzeri dolaylı bulgular dikkate alınmıştır. Fotokapan kayıtları, doğrudan arazi gözlemleri ve dolaylı bulgularla birlikte değerlendirilmiştir. Çalışma sonucunda toplam 10 memeli türü tespit edilmiştir. Yaban domuzu (*Sus scrofa*) 13 istasyonun tamamında kaydedilerek en yaygın tür olmuştur. Boz ayı (*Ursus arctos*), kızıl tilki (*Vulpes vulpes*), Çakal (*Canis aureus*) ve yabani tavşan (*Lepus europaeus*) 12 istasyonda belirlenmiştir. Ayrıca porsuk (*Meles meles*), kaya sansarı (*Martes foina*), Sincap (*Sciurus vulgaris*), Bozkurt (*Canis lupus*) ve yaban kedisi (*Felis silvestris*) kayıt altına alınmıştır. İstasyonlar arasında tür zenginliği bakımından farklılıklar belirlenmiş; Davutlar istasyonunda dokuz tür ile en yüksek, Küçükovacık istasyonunda ise üç tür ile en düşük tür sayısı tespit edilmiştir. Özellikle boz ayı, bozkurt ve yaban kedisi gibi koruma açısından önemli türlerin tespit edilmesi, Keles'in yaban hayatı açısından önemini ortaya koymaktadır. Elde edilen bulguların, bölgedeki memeli faunasının izlenmesi, biyolojik çeşitlilik envanterlerinin güncellenmesi ve gelecekte yürütülecek koruma ve yaban hayatı yönetimi çalışmalarına temel veri niteliği taşıması beklenmektedir.
Anahtar kelimeler: Biyolojik çeşitlilik, Memeliler, Fotokapan, Tür dağılımı, Yaban hayatı.

DETERMINATION OF TERRESTRIAL MAMMAL FAUNA IN KELES DISTRICT OF BURSA PROVINCE USING THE CAMERA TRAP METHOD

ABSTRACT
Keles district of Bursa Province provides suitable habitats for many wild mammal species due to its extensive forest areas, altitudinal variation, natural water resources, and diverse habitat types. This study aimed to determine the presence of terrestrial mammal species, particularly large mammals, in Keles district using camera traps and to reveal their distribution within the study area. Field surveys were conducted over an approximately 45-day sampling period,

during which a total of 13 camera-trap stations were established to represent different habitat characteristics. Habitat structure, water resources, animal movement routes, and indirect signs such as footprints and feces were taken into account when selecting the stations. Camera-trap records were evaluated together with direct field observations and indirect signs. A total of 10 mammal species were identified. Wild boar (*Sus scrofa*) was recorded at all 13 stations and was therefore the most widespread species. Brown bear (*Ursus arctos*), red fox (*Vulpes vulpes*), golden jackal (*Canis aureus*), and European hare (*Lepus europaeus*) were detected at 12 stations. In addition, European badger (*Meles meles*), beech marten (*Martes foina*), red squirrel (*Sciurus vulgaris*), gray wolf (*Canis lupus*), and European wildcat (*Felis silvestris*) were recorded. Differences in species richness were observed among the stations; the highest richness was recorded at the Davutlar station with nine species, whereas the lowest was recorded at the Küçükovacık station with three species. The detection of species of particular conservation importance, especially brown bear, gray wolf, and European wildcat, highlights the importance of Keles for wildlife. The findings are expected to provide baseline data for monitoring mammal fauna in the region, updating biodiversity inventories, and supporting future conservation and wildlife management studies.

Keywords: Biodiversity, Mammals, Camera trap, Species distribution, Wildlife.

AI OR TRADITIONAL INSTRUCTION? EXPLORING PRE-SERVICE ELT TEACHERS' PEDAGOGICAL PREFERENCES

Asst. Prof. Dr. Çiğdem GÜNEŞ
Department of Foreign Languages Education, English Language Teaching Program, Giresun University Gaziler Mahallesi, Prof. Ahmet Taner Kışlalı Cd, 28200 Giresun/ Turkey
ORCID ID: 0000-0002-0515-5170

ABSTRACT

The increasing integration of artificial intelligence (AI) into language education raises an important question for teacher education: Do prospective teachers prefer AI-supported instruction to traditional approaches, or do they continue to value established instructional practices? This qualitative study explores how pre-service English language teachers evaluate and compare AI-supported and traditional instruction and the factors underlying their preferences. Data were collected through written reflections and semi-structured interviews with pre-service English language teachers following their engagement with both instructional approaches. The data were analyzed using inductive qualitative content analysis. The findings indicate that participants did not express a straightforward preference for either AI-supported or traditional instruction. Instead, their evaluations reflected a predominantly complementary view of the two approaches. Traditional instruction was valued for providing concrete, embodied, and teacher-guided learning experiences, while AI-supported instruction was appreciated for enhancing engagement, facilitating access to resources, and increasing instructional efficiency. Participants' preferences appeared to be shaped by the instructional purpose, learner characteristics, and classroom context rather than by the technology itself. At the same time, participants expressed concerns about excessive reliance on AI and emphasized the continuing importance of teacher involvement and pedagogical decision-making. The findings suggest that pre-service teachers do not necessarily perceive AI and traditional instruction as competing alternatives. Rather, they favor a context-sensitive combination of both, in which AI serves as a pedagogical resource while traditional practices continue to fulfill functions that participants perceive as difficult to replace through technology. The study highlights the need for teacher education programs to move beyond a simple "AI versus traditional instruction" dichotomy and develop prospective teachers' capacity to make informed pedagogical choices about when, why, and how AI should be incorporated into language teaching.

Keywords: artificial intelligence; AI-supported language instruction; traditional language instruction; pre-service ELT teachers

TÜRKİYE'DE TARIM MAKİNALARI VE TEKNOLOJİLERİ ALANININ AB ARAŞTIRMA VE YENİLİK PROGRAMLARINDAKİ KONUMU: FP6'DAN UFUK AVRUPA'YA CORDIS TABANLI BİR ANALİZ

Öğr. Gör. Dr. Figen TAŞCI DURGUT
Tekirdağ Namık Kemal University, Vocational College of Technical Sciences, Machinery and Metal Technology Department, 59030 Süleymanpaşa, Tekirdağ
ORCID ID: 0000-0003-2740-995X

ÖZET
Bu çalışmada, Türkiye'de tarım makinaları ve teknolojileri alanının Avrupa Birliği araştırma ve yenilik programlarındaki konumu, 6. Çerçeve Programı'ndan (FP6) Ufuk Avrupa'ya uzanan süreçte CORDIS veri tabanı üzerinden ele alınmaktadır. Tarım makinaları ve teknolojileri; hassas tarım, robotik ve otonom sistemler, yapay zekâ, sensör teknolojileri, veri yönetimi, elektrifikasyon ve düşük karbonlu üretim uygulamalarının etkisiyle hızlı bir dönüşüm göstermektedir. Bu dönüşüm, yalnızca yeni teknolojilerin geliştirilmesini değil; geleceğe yönelik teknoloji vizyonunun belirlenmesini, Ar-Ge ve yenilik politikalarının şekillendirilmesini, uluslararası iş birliklerinin güçlendirilmesini ve tarımsal üretimde ekonomik, çevresel ve toplumsal faydanın artırılmasını gerekli kılmaktadır. Bu doğrultuda, 2002–2026 döneminde CORDIS veri tabanında yer alan ilgili projeler; program dönemi, proje bütçesi, AB katkısı, koordinatör ve katılımcı ülkeler, kuruluş türleri, Türkiye'den katılım ve teknoloji alanları açısından incelenmekte; tarımsal mekanizasyon, hassas tarım, robotik ve otonom sistemler, yapay zekâ, dijital teknolojiler, elektrifikasyon ve sürdürülebilirlik eksenlerinde sınıflandırılmaktadır. Bulgular, On İkinci Kalkınma Planı öncelikleriyle karşılaştırılarak Türkiye'nin güçlü ve gelişime açık alanlarının belirlenmesi; gelecek dönem AB proje stratejileri ile Ar-Ge, yenilik, uluslararasılaşma ve teknoloji politikalarına yönelik kanıta dayalı önerilerin geliştirilmesi açısından değerlendirilecektir.
Anahtar kelimeler: Tarım makinaları, tarım teknolojileri, CORDIS, AB Çerçeve Programları, Ufuk Avrupa, Türkiye.

THE POSITION OF TURKEY'S AGRICULTURAL MACHINERY AND TECHNOLOGIES SECTOR IN EU RESEARCH AND INNOVATION PROGRAMS: A CORDIS-BASED ANALYSIS FROM FP6 TO HORIZON EUROPE

ABSTRACT
This study examines the position of agricultural machinery and technologies in Türkiye within the European Union research and innovation programmes through the CORDIS database, covering the period from the Sixth Framework Programme (FP6) to Horizon Europe. Agricultural machinery and technologies are undergoing a rapid transformation driven by precision agriculture, robotics and autonomous systems, artificial intelligence, sensor technologies, data management, electrification, and low-carbon production applications. This transformation requires not only the development of new technologies, but also the establishment of a forward-looking technology vision, the shaping of R&D and innovation policies, the strengthening of international cooperation, and the enhancement of economic, environmental, and societal benefits in agricultural production. Accordingly, relevant projects included in the CORDIS database for the 2002–2026 period are examined in terms of programme period, project budget, EU contribution, coordinating and participating countries,

organization types, participation from Türkiye, and technology fields. The projects are further classified under agricultural mechanization, precision agriculture, robotics and autonomous systems, artificial intelligence, digital technologies, electrification, and sustainability. The findings will be compared with the priorities of Türkiye's Twelfth Development Plan in order to identify the country's strengths and areas for further development, and to formulate evidence-based recommendations for future EU project strategies as well as R&D, innovation, internationalization, and technology policies.

Keywords: Agricultural machinery, agricultural technologies, CORDIS, EU Framework Programmes, Horizon Europe, Türkiye

YEŞİL BÜTÇELEME VE YEŞİL MUHASEBE: KAMU MALİ YÖNETİMİNDE BÜTÜNLEŞİK BİR YAKLAŞIM

Dr. Nazmi Zarifi GÜRKAN
Hazine ve Maliye Bakanlığı, Ankara
ORCID ID: 0000-0002-2041-2294

ÖZET
İklim değişikliği ve çevresel riskler kamu kaynaklarının tahsisi, mali sürdürülebilirlik, kamu yatırımları ve hesap verebilirlik açısından kamu mali yönetiminin yeniden ele alınmasını gerekli kılmaktadır. Yeşil bütçeleme, iklim ve çevre hedeflerinin bütçenin planlama, hazırlama, uygulama, raporlama ve değerlendirme süreçlerine dâhil edilmesini sağlayan önemli bir politika aracı olarak öne çıkmaktadır. Ülkemizde yeşil bütçeleme yaklaşımının bütçe hazırlama sürecine dâhil edilmesi, kamu mali yönetiminin yeşil dönüşüm hedefleriyle uyumlaştırılması açısından önemli bir gelişmedir. Bununla birlikte, bütçe aşamasında gerçekleştirilen çevresel sınıflandırma ve değerlendirmelerin muhasebe, mali raporlama, performans ve denetim süreçleriyle bütünleştirilmesi, yeşil kamu mali yönetiminin etkinliği açısından önem taşımaktadır. Çalışmanın amacı, yeşil bütçeleme ile yeşil muhasebe arasındaki ilişkiyi kamu mali yönetimi perspektifinden incelemek ve mali bilgiler ile çevresel göstergelerin bütünleştirilmesine yönelik bir çerçeve önermektir. Çalışmada nitel araştırma yöntemlerinden doküman incelemesi kullanılarak OECD ülkelerindeki yeşil bütçeleme uygulamaları ile kamu sektörü sürdürülebilirlik raporlamasındaki güncel gelişmeler ele alınmaktadır. Bu çerçevede yeşil bütçe etiketlemesinin ötesine geçilerek kamu harcamalarının karbon emisyonu, enerji, su, kaynak verimliliği ve diğer çevresel göstergelerle ilişkilendirilmesi; mali işlemlerin çevresel etkilerinin ölçülmesi ve mali raporlamada bu bilgilerin kullanılmasına yönelik bir "Yeşil Kamu Mali Yönetimi" yaklaşımı önerilmektedir. Çalışmanın bütçe, muhasebe, performans, raporlama ve denetim süreçlerinin ortak veri altyapısı üzerinden bütünleştirilmesinin kamu kaynaklarının çevresel ve mali sonuçlarının birlikte değerlendirilmesine, şeffaflığın ve hesap verebilirliğin güçlendirilmesine katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.
Anahtar kelimeler: Yeşil bütçeleme, yeşil muhasebe, kamu mali yönetimi, sürdürülebilirlik, çevresel performans, mali raporlama

GREEN BUDGETING AND GREEN ACCOUNTING: AN INTEGRATED APPROACH TO PUBLIC FINANCIAL MANAGEMENT

ABSTRACT
Climate change and environmental risks necessitate a reevaluation of public financial management in terms of the allocation of public resources, fiscal sustainability, public investments, and accountability. Green budgeting stands out as a key policy tool that ensures climate and environmental objectives are integrated into the budget's planning, preparation, implementation, reporting, and evaluation processes. In Türkiye, the integration of the green budgeting approach into the budget preparation process represents a significant development in aligning public financial management with green transition goals. However, the integration of environmental classification and assessments conducted during the budgeting phase with accounting, financial reporting, performance, and audit processes is crucial for the effectiveness of green public financial management. The purpose of this study is to examine the relationship between green budgeting and green accounting from a public financial management perspective and to propose a framework for integrating financial information with environmental indicators.

Using document analysis—a qualitative research method—this study examines green budgeting practices in OECD countries and recent developments in public sector sustainability reporting. Within this framework, moving beyond mere “green budget” labeling, the study proposes a “Green Public Financial Management” approach that links public expenditures to carbon emissions, energy, water, resource efficiency, and other environmental indicators; measures the environmental impacts of financial transactions; and utilizes this information in financial reporting. The study concludes that integrating budget, accounting, performance, reporting, and audit processes through a common data infrastructure will contribute to the joint assessment of the environmental and financial outcomes of public resources, as well as to strengthening transparency and accountability.

Keywords: Green budgeting, green accounting, public financial management, sustainability, environmental performance, financial reporting

DÜZLEMSEL FOTODEDEKTÖRLER İÇİN $Sb_2(S,Se)_3$ İNCE FİLMLERİN ŞELASYON KONTROLLÜ HİDROTERMAL BÜYÜTÜLMESİ

Dr. Öğretim Üyesi Fulya TURKOGLU
Department of Metallurgical and Materials Engineering, Iskenderun Technical University, 31200 Iskenderun, Hatay
ORCID ID: 0000-0003-0378-8975

ÖZET

$Sb_2(S,Se)_3$ fotodedektörleri; ayarlanabilir bant aralığı, yüksek optik soğurma katsayısı, yerkabuğunda bol bulunan bileşenleri, düşük toksisitesi ve düşük maliyetli çözelti tabanlı üretim yöntemleriyle uyumluluğu nedeniyle UV ve görünür ışık algılama uygulamaları için umut vadeden adaylardır. Ancak, hidrotermal biriktirme sırasında gerçekleşen hızlı reaksiyonlar ve tavlama sonrası kalkojenlerin buharlaşması; kontrolsüz çekirdeklenmeye, kalkojen kaybına, bileşimsel düzensizliğe ve kusur bakımından zengin tane sınırlarının oluşmasına neden olarak foto-taşıyıcı üretimini ve taşınımını sınırlayabilmektedir. Bu çalışmada, $Sb_2(S,Se)_3$ ince filmlerin hidrotermal büyümesini kontrol etmek ve düzlemsel UV fotodedektör performansını iyileştirmek amacıyla şelatlayıcı ajan olarak EDTA-2Na kullanımı araştırılmıştır. Filmler, 30 mM antimon potasyum tartarat, 150 mM sodyum tiyosülfat ve 5 mM selenoüre kullanılarak, EDTA-2Na içermeyen ve 5 mM EDTA-2Na içeren iki farklı koşulda SLG/ITO altlıklar üzerine 135 °C'de 6 saat biriktirilmiştir. Numuneler daha sonra Ar akışı altında tüp fırında 350 °C'de tavlanmıştır. XRD analizleri, belirgin hk0 tercihli yönelime sahip ortorombik $Sb_2(S,Se)_3$ ile ilişkili filmlerin oluştuğunu doğrulamıştır. Bu yönelim, yarı tek boyutlu $(Sb_4X_6)_n$ şeritlerinin altlığa paralel olarak hizalanmasının düzlem içi yük taşınımını kolaylaştırması nedeniyle düzlemsel fotodedektörler açısından avantajlıdır. EDTA-2Na destekli film, daha yüksek XRD pik şiddetleri sergileyerek gelişmiş kristallenmeye ve daha güçlü tercihli büyümeye sahiptir. SEM analizleri, EDTA-2Na ilavesi sonrasında daha homojen, kompakt ve sürekli bir morfoloji oluştuğunu göstermiştir. Film kalınlığı yaklaşık 707 nm'den 912 nm'ye yükselmiştir. EDS analizi, EDTA destekli filmde daha yüksek kalkojen içeriği bulunduğunu göstermiş ve EDTA-2Na'nın film oluşumu ve tavlama sırasında meydana gelen kalkojen kaybını baskıladığını düşündürmüştür. 365 nm aydınlatma altında ve 2V gerilimde EDTA-2Na kullanımıyla duyarlılık 1,36'dan 7,38 mAW^{-1}'e, özgül algılama yeteneği ise $5{,}11\times10^{9}$'dan $3{,}04\times10^{10}$ Jones'a yükselmiştir. Bu bulgular, EDTA-2Na destekli büyümenin kalkojen korunmasını, morfolojik homojenliği, kristallenmeyi, hk0 tekstürünü ve UV fotodedektör performansını iyileştirdiğini göstermektedir.

Anahtar kelimeler: $Sb_2(S,Se)_3$ ince film, EDTA-2Na, hidrotermal biriktirme, düzlemsel fotodedektör

CHELATION-CONTROLLED HYDROTHERMAL GROWTH OF $Sb_2(S,Se)_3$ THIN FILMS FOR PLANAR PHOTODETECTORS

ABSTRACT

$Sb_2(S,Se)_3$ photodetectors are promising candidates for UV and visible-light sensing because of their tunable band gap, high optical absorption coefficient, earth-abundant constituents, low toxicity, and compatibility with low-cost solution-based fabrication. However, rapid precursor reactions during hydrothermal deposition and chalcogen volatilization during post-annealing can cause uncontrolled nucleation, chalcogen loss, compositional nonuniformity, and defect-rich grain boundaries, limiting photocarrier generation and transport. This study investigates EDTA-2Na as a chelating agent for controlling the hydrothermal growth of $Sb_2(S,Se)_3$ thin

films and improving planar ultraviolet photodetector performance. Films were deposited on SLG/ITO substrates at 135 °C for 6 h using 30 mM antimony potassium tartrate, 150 mM sodium thiosulfate, and 5 mM selenourea, either without EDTA-2Na or with 5 mM EDTA-2Na. The samples were subsequently annealed at 350 °C under Ar flow using tube furnace annealing. XRD confirmed orthorhombic $Sb_2(S,Se)_3$-related films with pronounced hk0 preferred orientation. This orientation is advantageous for lateral planar photodetectors because alignment of the quasi-one-dimensional $(Sb_4X_6)_n$ ribbons parallel to the substrate facilitates in-plane charge transport between the electrodes. The EDTA-2Na-assisted film exhibited higher XRD peak intensities, indicating improved crystallinity and enhanced preferential growth. SEM revealed a more homogeneous, compact, and continuous morphology following EDTA-2Na addition. Film thickness increased from approximately 707 to 912 nm. EDS analysis showed higher chalcogen content in the EDTA-assisted film, suggesting that EDTA-2Na suppressed loss of chalcogen during film formation and annealing. Under 365 nm illumination at 2V, EDTA-2Na increased responsivity from 1.36 to 7.38 mAW^{-1} and specific detectivity from 5.11×10^9 to 3.04×10^{10} Jones. These findings show that EDTA-2Na-assisted growth improves chalcogen retention, morphological homogeneity, crystallinity, hk0 texture, and UV-photodetector performance.

Keywords: $Sb_2(S,Se)_3$ thin film, EDTA-2Na, hydrothermal deposition, planar photodetector

NVIDIA JETSON ORIN NX (16 GB) VE AGX ORIN (32 GB) ÜZERİNDE VISION TRANSFORMER DİKKAT MEKANİZMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Asst. Prof. Tolga TURAY
Ataturk University, Faculty of Engineering, Department of Electrical and Electronic, 25240 Yakutiye, Erzurum
ORCID ID: 0000-0002-1445-296X

ÖZET
Transformer mimarileri bilgisayarlı görü uygulamalarında yüksek başarı göstermelerine rağmen, yüksek hesaplama ve bellek gereksinimleri gerçek zamanlı ve kaynakları sınırlı sistemlerde önemli bir kısıt oluşturmaktadır. Bu gereksinimleri azaltmak amacıyla global, doğrusal ve pencere tabanlı öz-dikkat gibi farklı mekanizmalar geliştirilmiştir. Ancak bu mimarilerin teorik hesaplama özellikleri ile gerçek donanım üzerindeki çalışma zamanı performansları arasında doğrudan bir karşılık bulunmayabilir. FLOP sayısındaki veya hesaplama karmaşıklığındaki azalma; bellek erişimi, aritmetik yoğunluk ve donanımın hesaplama kaynaklarından yararlanma düzeyine bağlı olarak gerçek çıkarım süresine farklı oranlarda yansıyabilir. Bu nedenle farklı dikkat mekanizmalarının teorik ve gerçek zamanlı performanslarının farklı donanım kapasitelerine sahip uç GPU platformlarında birlikte incelenmesi önem taşımaktadır. Bu çalışmada geleneksel global öz-dikkat kullanan ViT-B/16, Performer esinli çekirdek tabanlı doğrusal öz-dikkat kullanan ViT-B/16 ve kaydırılmış pencere öz-dikkatine sahip Swin-T karşılaştırılmıştır. Modeller, 224×224 piksel çözünürlükte ImageNet-1K üzerinde AdamW optimizasyon algoritmasıyla 300 epoch boyunca NVIDIA A40 GPU'lar kullanılarak eğitilmiş; çıkarım performansları NVIDIA Jetson Orin NX (16 GB) ve Jetson AGX Orin (32 GB) üzerinde değerlendirilmiştir. Orin NX üzerinde global ViT-B/16, doğrusal ViT-B/16 ve Swin-T için ortalama çıkarım süreleri sırasıyla 42, 40 ve 36 ms iken, AGX Orin üzerinde 22, 18 ve 13 ms olarak ölçülmüştür. Tüm modeller daha güçlü platformdan yararlanmakla birlikte, göreceli gecikme azalmasının Swin-T'de daha belirgin olması, mimari avantajlarının AGX Orin üzerinde daha etkin biçimde kullanılabildiğini göstermektedir. Çalışma zamanı bileşenlerine ayrıştırma analizi de benzer performans eğilimleri ortaya koymuştur. Bulgular, gerçek zamanlı Vision Transformer verimliliğinin değerlendirilmesinde teorik hesaplama maliyeti ile platforma özgü çalışma zamanı davranışının birlikte ele alınması gerektiğini göstermektedir.
Anahtar kelimeler: Vision Transformer, dikkat mekanizmaları, donanım-farkındalıklı değerlendirme, bilgisayarlı görü.

EVALUATION OF VISION TRANSFORMER ATTENTION MECHANISMS ON NVIDIA JETSON ORIN NX (16 GB) AND AGX ORIN (32 GB)

ABSTRACT
Transformer architectures have achieved strong performance in computer vision; however, their computational and memory requirements remain important constraints for real-time and resource-limited deployment. Different attention mechanisms, including global, linear, and window-based self-attention, have therefore been developed to reduce computational demands. Nevertheless, the theoretical computational characteristics of these architectures do not necessarily translate directly into their runtime performance on actual hardware. Reductions in FLOPs or computational complexity may produce different practical latency gains depending on memory-access behavior, arithmetic intensity, and the ability of a particular hardware

platform to exploit the underlying architecture. Consequently, jointly examining the theoretical and real-time characteristics of different attention mechanisms across edge GPU platforms with different computational capabilities is important for understanding their practical efficiency. This study compares ViT-B/16 with conventional global self-attention, ViT-B/16 with a Performer-inspired kernel-based linear self-attention mechanism, and Swin-T with shifted-window self-attention. All models were trained on ImageNet-1K at 224×224-pixel resolution for 300 epochs using the AdamW optimizer on NVIDIA A40 GPUs. Their inference performance was subsequently evaluated on NVIDIA Jetson Orin NX (16 GB) and Jetson AGX Orin (32 GB). Average inference latencies for global ViT-B/16, linear ViT-B/16, and Swin-T were 42, 40, and 36 ms on Orin NX, respectively, compared with 22, 18, and 13 ms on AGX Orin. Although all models benefited from the more powerful platform, the relative latency reduction was more pronounced for Swin-T, indicating that its architectural advantages were more effectively exploited on AGX Orin. Runtime-decomposition analysis revealed a similar performance trend. Overall, the findings demonstrate the importance of jointly considering theoretical computational characteristics and platform-specific runtime behavior when evaluating Vision Transformer efficiency for real-time deployment.

Keywords: Vision Transformers, attention mechanisms, hardware-aware evaluation, computer vision.

FONKSİYONEL DERECELENMİŞ MALZEMELİ TONOZLARIN STATİK ANALİZİ

Dr. Öğr. Üyesi Timuçin Alp ASLAN
Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-7558-3568
Hatice GÖK
Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Adana, Türkiye
ORCID ID: 0009-0003-4334-8736

ÖZET

Tonozlar, taşıyıcı sistemlerin temel elemanı olmasının yanı sıra kabuk benzeri yapısal formlar oluşturmaları nedeniyle, yapısal davranışlarının incelenmesi açısından bir çok araştırmaya konu olmuştur. Bu çalışmada, Fonksiyonel Derecelenmiş Malzeme (FDM) kullanılarak imal edilen dairesel, eliptik ve parabolik formdaki tonozların statik performansı ayrıntılı olarak ele alınmıştır. İki veya daha fazla farklı malzemenin özelliklerinin, yapı kesiti boyunca belirli bir fonksiyon dahilinde sürekli olarak değişmesiyle elde edilen FDM'ler, tonoz yapılar için yapısal ve verimli çözüm sunmaktadır. FDM'nin tonozlarda kullanılması, geometrik form ile malzeme özelliklerinin birlikte değerlendirilerek tonozların statik performansının iyileştirilmesi açısından önemli bir araştırma alanı sunmaktadır. Analizler, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak ANSYS APDL ortamında gerçekleştirilmiş ve tonozların modellenmesinde sekiz düğüm noktalı SHELL281 elemanı kullanılmıştır.Araştırma kapsamında; malzeme dağılım indeksinin, mesnet koşullarının ve geometrik özelliklerin yapısal davranış üzerindeki yansımaları, düşey yerdeğiştirme verileri üzerinden karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular, bu değişkenlerin sistemin eğilme mekanizması üzerinde birincil derecede belirleyici olduğunu açıkça kanıtlamıştır. Sonuç olarak bu araştırma, FDM tonozların optimize edilmesinde malzeme indeksi, form eğriliği ve sınır şartlarını bütüncül bir perspektifle ele alan tasarım yaklaşımlarının, yüksek verimli ve güvenli mühendislik yapıları inşa etmek için önemli olduğunu ortaya koymaktadır.
Anahtar kelimeler: Tonoz, Fonksiyonel Derecelenmiş Malzeme, Statik Analiz, Sınır Şartları

STATIC ANALYSIS OF FUNCTIONALLY GRADED VAULTS

ABSTRACT

In this study, the static performance of circular, elliptical, and parabolic vaults fabricated using Functionally Graded Materials (FGMs) is investigated in detail. FGMs are obtained through the continuous variation of the properties of two or more different materials across the structural thickness according to a prescribed function, thereby providing an alternative approach for vault structures. The use of FGMs in vaults offers an important research opportunity for improving their static performance by considering geometric form and material properties together. The analyses were performed using the finite element method in the ANSYS APDL environment, utilizing the eight-node SHELL281 element for modeling the vaults. Within the scope of the study, the effects of the material distribution index, support conditions, and geometric characteristics on structural behavior were comparatively evaluated based on vertical

displacement results. The findings clearly demonstrate that these parameters play a primary role in determining the bending behavior of the system. Consequently, this study reveals that design approaches considering the material distribution index, form curvature, and boundary conditions from an integrated perspective are important for optimizing FGM vaults and developing efficient and safe engineering structures.
Keywords: Vault, Functionally Graded Material, Static Analysis, Boundary Conditions

MAGNETOHYDRODYNAMICS BIOCONVECTIVE WILLIAMSON HYBRID NANOFLUID FLOW OVER A NON – LINEAR STRETCHING SURFACE WITH JOULE HEATING, ACTIVATION ENERGY AND CATTANEO – CHRISTOV HEAT FLUX

Dr. Cletus Onwubuoya
Department of Mathematics, Federal University of Medical and Health Sciences Kwale, Delta State
Dr. Bright Adinchezo Adimoha
Department of Mathematics, Federal University of Medical and Health Sciences Kwale, Delta State
Kenneth Oke Ogeh
Department of Mathematical Sciences, Edwin Clark University, Kiagbodo, Delta State

Abstract
This study investigates the magnetohydrodynamic bioconvective flow of a Williamson hybrid nanofluid over a nonlinear stretching sheet in the presence of Joule heating, activation energy, nonlinear thermal radiation, and Cattaneo–Christov heat flux. The mathematical model incorporates Brownian motion, thermophoresis, chemical reaction, and gyrotactic microorganisms to examine the coupled heat and mass transfer characteristics of the non-Newtonian hybrid nanofluid. The governing partial differential equations are transformed into ordinary differential equations using suitable similarity variables and solved numerically through the Collocation method.
The influence of various physical parameters on velocity, temperature, nanoparticle concentration, and microorganism distributions is analyzed and presented graphically. The results reveal that increasing the magnetic parameter decreases fluid velocity due to the Lorentz force, while thermal radiation and Joule heating significantly enhance the temperature distribution within the boundary layer. Activation energy is found to increase nanoparticle concentration, whereas a stronger chemical reaction parameter reduces species concentration. Additionally, gyrotactic microorganisms improve the bioconvective stability of the flow system. The Cattaneo–Christov thermal relaxation parameter suppresses the temperature profile compared to the classical Fourier heat conduction model.
The findings demonstrate the applicability of the model to advanced thermal systems, biomedical transport processes, cooling technologies, and energy-related industrial applications involving non-Newtonian hybrid nanofluids.
Keywords. Williamson hybrid nanofluid, MHD, bioconvective

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

THE RELATIONSHIP BETWEEN EDUCATION AND ECONOMIC DEVELOPMENT IN RURAL AREA (MONARAGALA DISTRICT)

R.M.T.N. Senevirathne
M.A. Fathima Jelsa
Department of Accountancy and Finance, Faculty of Management & Commerce
South Eastern University of Sri Lanka (SEUSL)

ABSTRACT
This paper has examined the relationship between education and economic development in the rural regions particularly Monaragala District. It attempted to determine how education provides benefit into the economy in the farm villages and to the individuals, what the locals believe about school and how it influences employment and earnings of the people. It also examined the issue that people have with obtaining good school, and how social, cultural, and monetary problems impact the number of people completing school, and their economy. Lastly, it attempted to identify the policies that could strengthen the connection among education, economy and rural development. This research is a quantitative research design, as I posed questions that were structured to individual's selected rural communities in Monaragala. I noted the responses and examined the information to respond to questions and observe the correlation between school and economic indicators such as wage, work and community improvement. The findings revealed that education is quite crucial to the the economic development of individuals and the general society. Good school and training helped to find work and increased family earnings. People reported that school improved their financial situation however, they also pointed out bad buildings, lack of teachers and lack of money which prevent anyone to study. The economy was also influenced by the amount of people completing school depending on the social and cultural things. This research indicated that the connection between school and the rural level of economic development could be enhanced by enhancing the capacity to access school, making it superior, and establishing certain policies. These findings indicated that the government and individuals should assist in vocational and technical training, reduce barriers to school, and co-ordinate long-term development in Monaragala District and in the same kind of village.
Keywords: *Education, Economic Development, Rural Communities, Monaragala District, Vocational Training, Employment, Income, Educational Access*

1.0 INTRODUCTION
The human primarily depends on education as the basis of giving foundation to lives. This is used to ensure that people are able to live better lives as well as the development of a nation. In the case of the World Bank (2022), education increases productivity, leads to innovation, and disseminates the application of the new technologies that are prerequisites to economic growth. Being a less industrialized country, the literacy program in Sri Lanka not only focused on enhancing human capacity among the citizens but placed much more emphasis on alleviating poverty and inequality through providing more people with an opportunity to contribute in the developmental effort.

Economic development can be defined as the process of enhancing the economic well-being of people. It implies such aspects as raising the income of people, creating jobs, and making it easier to access the required services. Education is also not irrelevant in this process since it increases the skills and achievements of people and these results in valuable work (Hanushek & Woessmann, 2020). Properly educated individuals will have greater chances of having permanent jobs and establishing businesses. They can also engage in the decision making process of how their community is to be organised in a meaningful way.

According to the (UNESCO, 2021) not all regions are equally benefiting out of education. The rural regions in most cases have been associated with inaccessibility to good schools, Shortage of trained teachers, and inequity of infrastructure. It is through these barriers that the learning opportunities of the rural students are provided which in its turn influences the capability of the rural students in engaging in economic activities. The long term impacts on the social and economic development are reflected in the education disparity between urban and rural areas.

Each of my reviews shows that Sri Lanka has gone so far in its education development since independence that it now has high literacy, and virtually every child has access to primary education (Department of Census and Statistics [DCS], 2023). The most recent survey of the Sri Lanka Labour force 2023 revealed that the national literacy rate was 98.1%, and the labour force participation was 50.1 %. Nevertheless, there are still some rural areas, like Monaragala, where the problem of poverty, unemployed youth, and a high reliance on agriculture and other informal activity persists (World Bank, 2021). It is financial hardship and lack of facilities that make many young people leave school early or not be able to pursue higher education in Monaragala.

These rural areas are not only important in education that enables better job opportunities of the people but also in building up the local economies. Educating rural people will enable them to embrace modern agricultural methods, efficient resource management and the diversification of their sources of income. These advancements enhance the output and level of income, which leads to the sustainable development of the community (Tilakaratna & Gunasekara, 2020).

The Sri Lankan government and non-governmental organizations have also come up with a number of educational development programs in the past years in an attempt to narrow down the regional disparities. However, the degree to which these efforts have favoured the development of the local economies is not apparent. Previous research has been done on the relationship between education and economic development on national level with little emphasis on the real life experiences of people in the rural regions.

As per my discussing the connection between education and economic development in rural communities based on the case of the Monaragala District. The study aims at knowing the impacts of education on the economic life of the rural population, the problems that such populations encounter in accessing education opportunities and how such experiences can lead to the development of rural people in Sri Lanka.

1.2 PROBLEM STATEMENT

Education is one of the basic pillars of personal and national development, and it provides people with knowledge, skills and self-efficacy necessary to improve their personal livelihoods and contribute to the welfare of society. However, in many rural areas of Sri Lanka, education

has not fully been realised. Although the literacy level in the country is relatively high, some districts like Monaragala are still facing widespread challenges such as poverty, unemployment, suppressed level of income.

Among the salient issues, there is a sharp inequalities in the access to education between urban and peri -urban centres and the rural ones. The rural schools are often poorly equipped with bad facilities, lack of qualified teachers and insufficient teaching materials. This has forced a large number of students to cover a long distance to school with poor families dealing with the cost implications. Thus, a substantial percentage of rural students leave school and fail to obtain any form of post-basic education, therefore, limiting their chances to receive decent jobs or gain a steady income in the future.

Most of the population in the Monaragala District is involved in subsistence production or day wage workers with small and unreliable incomes. Even those who study there formally usually face a lack of appropriate working opportunities, which can be explained by the lack of industrial work and professional training courses in the region. This situation triggers the movement of a large number of young adults to cities to find better opportunities in the labour market thus abandoning the older family members and having a negative impact on local economy.

At the same time, families and students living in rural areas are faced with various social and economic pressures. Some parents do not appreciate the benefits of education in the long-term and, hence, persuade the youngsters to join the labour force at an early age as a supplement of income. Other people are limited by restrictive prices of secondary or higher education. This leads to poverty trapping rural youths because of the inability to achieve upward social economic mobility.

When review attempts by the government, with NGOs, to improve the education of rural communities and reduce disparities, the real-life experiences of rural residents are often inadequately understood. Issues like the exact impact of education on their economic lives, challenges that prevent access to learning opportunities and how education can be efficiently integrated with rural development remain questions.

Therefore, the current paper is focused on examining the interaction between education and economic development in rural settings and the Monaragala District in particular. The goals of the research include exploring the ways in which education level determines the life and economy of the rural areas, the obstacles that face people in accessing education and the ways in which improvement of the education can be used to help the community grow in general.

1.3 RESEARCH QUESTIONS

This paper seeks to understand the interconnection between education and economic development in rural settings based on experiences and visions of people that reside in the Monaragala District. The study aims at providing the answer to the following questions,

1. What is the role of education in the economic growth of rural community and individuals?
2. How do people in the rural areas feel and how do they view education as important in enhancing their economic status?
3. What is the impact that education access has on the level of employment and income among rural families?
4. What are the difficulties and obstacles that the rural population faces trying to access good education?
5. How does education play out in the development of the community and local economy in the Monaragala District?

6. What role do social, cultural and financial factor play in determining the level of educational attainment and the effect it has on economic development?
7. What can be done to improve or act as a policy measure to enhance the connection between education and economic growth among the rural communities?

1.4 OBJECTIVES OF THE STUDY

This study has the following objectives,

1. To test the education-economic development connection in rural communities and especially in the Monaragala District.
2. In order to examine how education affects the economic status of people, such as the level of income and the number of people able to work.
3. To determine the importance of education in community building as well as sustaining the local economy.
4. To find out the difficulties and obstacles those prevent rural population to receive quality education.
5. To examine the social, cultural, and financial determinants to education and the resultant impact on economic growth.
6. To suggest some possible improvements or policy interventions that would enhance the nexus between the education and economic development in rural environments.

2.0 LITERATURE REVIEW

Education is regarded as major driver to economic development particularly on rural settings such as Monaragala in Sri Lanka. The literacy level is high in the country and it has never failed to provide free education but disparities as to who can also acquire good education and the location of those schools is still apparent, particularly the remote parts of the country.

According to Sarma and others (2019), there are huge education gaps in Sri Lanka. Students residing in rural districts can hardly obtain good schools and supplies. Lack of buildings and teachers in lots of schools in Monaragala damages the quality of learning and future employment of students.

Big economic impacts have these gaps in education. Ganegodage and Rambaldi (2011) have discovered that expenditure on education contributes to the growth of Sri Lanka, though the returns are less than in other third world countries. It demonstrates that an increase in the quality and access to education in rural regions might result in significant economic gains.

This thought is supported by the Human Capital Theory, which states that an investment in education enhances the productivity and skills of people, which enhances the entire economy. In Monaragala, access to good schools would be more accessible and allow people to make more than farming, reducing poverty and stimulating sustainable development. This review will critically examine the existing research on the education disparity in rural Sri Lanka, and the impacts of education spending on the economy and the theory behind it.

3.0 RESEARCH DESIGN

In my research, this chapter repents the methodological approach to be used to examine the influence of education on income, job opportunities, and economic growth in the Monaragala District. The general aim of the investigation is to clarify the nexus between education level and economic opportunities in the rural areas. The aims of the research, thus, revolve around identifying the values of different levels of education attainment through their impact on earnings, access to employment, quality of life and the general social development. Through analysis of these dimensions, the research hypothesizes that improvement in education delivery can be a start to economic development and alleviation of poverty within rural areas.

The qualitative research paradigm was chosen based on its ability to offer a more delicate understanding of the lived experience and the opinion of the individuals. However, unlike

quantitative approaches, in which the inquiry depends on a major part on numerical data and statistical inferences, the qualitative inquiry predominates with the stories, impressions, and experiences of the participants. This type has the added benefit of being especially helpful in the interrogation of complex phenomena such as the role of educational opportunities in economic performance since it includes social, cultural, and personal variables which may be ignored by only numerical data sets.

The chapter also outlines the study as regards procedure. It outlines the research environment, participant selection methods, and methods of data collection and analysis as well as the ethical measures put in place to guarantee the confidentiality of the participants. The methodological procedures followed in ensuring the robustness and meaningfulness of the findings is also discussed. Through a clear description of the research procedure, this chapter proves that the research was carried out with methodological rigor and that the data that came out was a true Reflection of the experiences of residents in Monaragala District.

Overall, the methodology chapter provides a detailed insight into the research methodology and study, and the approach will help the reader to gain a clear and accurate understanding on how the study was carefully designed to build credible and depth evidence on the role of education in improving the livelihoods as well as augmenting income and economic development in the rural communities.

3.1 RESEARCH DESIGN

The current research takes the qualitative research design, which is suitable to have an in-depth investigation of social phenomena as it does not focus on quantitative data but rather the subjective experience and perspectives of the participants. It is a design that allows complete capture of the insights of how education impacts income, employment, and economic opportunities in the Monaragala District.

The study uses the case study approach, where the Monaragala District is used as a unique case with which to be extensively explored. This structure is especially appropriate, since it allows exploring how educational interventions influence the income careers, access to employment, and poverty reduction, and integrate a continuum of views shared by teachers, students, recent school graduates, college students, farm workers, businesspeople, parents, and the leader of the local community (Grama Niladhari).

The use of a case study also contributes towards the fact that results are contextualized in their respective socio-environmental settings, where their access to financial resources, lack of facilities, and limited access to opportunities all have a direct impact on educational results. Following this methodology of qualitative case study, the research accomplishes a descriptive, context based comprehension of how the level of education restructures livelihoods, employment opportunities and general economic development in the Monaragala District.

3.2 RESEARCH SETTING AND CONTEXT

The study was carried out at the Monaragala District which is located in Uva Province, Sri Lanka. The area is largely rural with most of the people living in that area depending on agricultural productivity as the main source of livelihood. Rubber and paddy farming are the main forms of income of the local families and there is no other economic avenue therefore making the rural nature of Monaragala a suitable site through which exploring the role of education in income, employment and economic growth can be done.

The case study itself was on a region called Medagama in the educational zone of Bibile. The selection of this locality was due to the representativeness of the area of the typical rural conditions in the district such as shortage of access to educational factors, and shortage of infrastructures. Some of the issues that are commonly faced by schools in this zone include

shortage of teachers, poor facilities and limited chances of vocational training or higher education. The research in this field provides a realistic representation of the learning situation in rural Monaragala.

It has been established that Monaragala District has a relatively low overall educational attainment compared to the rest of the regions in Sri Lanka. Many students face the challenges of furthering their education past the primary or secondary level, which is due to financial constraints or long distance to learning institutions, lack of guidance and support. These educational constraints are inherent to the research problem because, the lack of education can limit the opportunities in the workplace, limit the increase in income and hinder the ability of families to improve their living conditions.

The study can be used to explain the correlation between education and economic development among the rural communities by examining the Medagama area. This particular environment will allow focusing on how educational issues influence not only the individual achievements of a learner but the social and economic implications of the community in general. The experiences that were obtained in this study can be used to design strategies that can be used in boosting access to education and in ensuring the economic growth of such rural areas in Sri Lanka is sustainable.

3.3 SAMPLING STRATEGY

The study sample used in this research included the residents of Monaragala District who had the potential in giving substantive information with regards to the nexus between education and its implications on income, employment and overall economic growth. In particular, this group comprised those who had firsthand experience in the education sector, the labour market, entrepreneurial business, or agricultural production as their views are critical in explaining the physical effect of education on local livelihoods.

The purposive sampling method was used, as the research required the interviewees possessing specific expertise and life experiences. This approach allowed the systematic selection of the informants who could provide a detailed and practical data, unlike random, probabilistic approach. The purposive sampling is especially the best in qualitative inquiry since it places emphasis on depth and richness of information rather than breadth and representativeness.

The sample size was eight participants representing different occupational groups; a school teacher, a current secondary school student, a post-school student, an incoming university student, an unsuccessful entrepreneur, a farmer living in the countryside, a banking employee, and a government worker. This diverse conglomeration increased the ability to obtain different interpretations of the manner in which education can adjust economic opportunities. Every player gave different stories thus showing the challenges and benefits that come with education level in a rural setting.

The inclusion criteria required that the participants should be domiciled in Monaragala District and have significant knowledge or experience on the role that education plays in economic life. People who failed to qualify on the residency criterion or who were not likely to provide valuable information on the relevant topics were relegated out of the study.

This sampling method guaranteed the researcher obtained the right data with a contextual background of the local people. Through the incorporation of participants representing various

occupational classes and perspectives, the study was placed to achieve a fine understanding of the contribution of education in creating income, employment and societal development in the Monaragala District.

3.4 DATA COLLECTION METHODS

The data used in this study were mainly collected using semi structured interviews, a medium, which enables the participants to share their experiences in a flexible way, in addition to enabling the researcher to enquire certain themes. Open-ended questions were used in order to acquire a detailed response about how education influences income, employment and economic progress of Monaragala District.

The interviews were face-to-face, which contributed to creating a favourable atmosphere of the interview and allowing the researcher to observe non-verbal communication elements, including facial expressions, body language, and tone. These non-verbal cues are supplementary cues, which might not be well conveyed through the spoken word, making the data richly interpreted.

The interviews took about thirty to forty five minutes, which is considered adequate and could give the participants enough time to express their opinions comprehensively. The meetings were conducted in locations of choice by the participants in such a way that they could walk to their homes, schools or offices to create a feel of comfort.

The purpose of the researcher was well stated before the start of the interview and the participants were presented with the assurance of confidentiality of their disclosures. This pre-briefing helped to strengthen concentration and promote the honest description of personal experiences.

This is because the semi-structured, face-to-face interviews were used and this helped to elicit in-depth and meaningful information about the effects of education on income, employment, and overall development of Monaragala District.

4.0 DATA ANALYSIS AND FINDINGS

The chapter illustrates the research and findings concerning the relationship that exists between education and economic growth in the Monaragala district. It comes out clearly on the influence of schooling in jobs and incomes in the rural areas using the stories and experiences of the people who participated. Those findings are based on the interviews with eight individuals, including a teacher, a student, a school leaver, a university student, a farmer, an entrepreneur, a parent, and the local Grama Niladhari. Their opinions provided are a combination of both expectations and issues in an attempt to connect education with domestic development.

It is analysed with a number of concepts of economics and social science. Endogenous Growth Theory indicates that the same is stimulated by knowledge and learning and so does the long-term growth. The Human Capital Theory illustrates that this expenditure on schooling increases the work output and the income of people and that is beneficial to the entire economy. According to the Capability Approach, learning increases the freedom and options of people. According to Social Capital theory, friendly networks, trust and joint effort indicate that learning becomes development. The modernization Theory is the way through which schooling transforms traditional villages into more modernized and developed areas.

It is based on these ideas that the chapter identifies key themes of the data. They are: the access to schooling in rural sections by people; the role of education in generating economic opportunities; what hinders education enhancing local enterprises; and the local culture on the

experiential and developmental acquisition of learning. Thematic approach to analysis ensures that findings are not only based on personal experience but also general social tendencies, and supported by direct quotations of the respondents.

4.1 DATA ANALYSIS

As per my analysed the information in the interviews that we have based on the common ideas. Conversations were transcribed, each piece was assigned a simple code and the codes resembling each other were grouped into great themes. In this way, I could observe trends that indicate the relationship between education and the growth of the economy in Monaragala rural community.

The interviews were transcribed verbatim in order to record all the details. The transcripts are then read with great number of time in order to identify key statements that were relevant in our study objectives. The statements were selected and numbered with primary codes.

Then I was coded and categorized similar codes using broad categories. This aided me to group the complicated data into clear clusters, which we narrowed down to great themes that aligned our ideas of the research.

Four main themes emerged:

1. Knowledge and Skills as Drivers of Growth - demonstrating that learning develops people and ideas of villages by means of learning.
2. Entrepreneurship and Innovation - demonstrating the aspects of education, which can be applied to start a business.
3. Agricultural Productivity this demonstrates that learning transforms farm practices resulting in increased production.
4. Community and Social Development - demonstrating that education changes values, attitudes and teamwork in the rural communities.

The variety of participants helped to strengthen the analysis. I was interviewed a teacher, a student, a school leaver, a student of a university, a farmer, an entrepreneur, a parent, and the village officer. This combination provided us with perspectives of several levels of education and community work, thus, gathered both individual and community experiences.

As an illustration, teachers and students reported that learning skills can make them develop and secure jobs in future. Parents and farmers discussed the benefits of education in farming and their expectations with respect to their families. This was explained by business owners on how learning generates new ideas and businesses and the big picture vision of how education transforms the entire community by the village officer.

The themes were directed using a clear research framework founded on known theories of development. This ensured that our analysis is clear in explaining why and how education helps rural economic growth and not what people may think.

I wanted to transform the stories we listened to evidence that provides an answer on the research question. The analysis of themes helped to observe how education modifies the knowledge of people, their attitude, and the community working together.

The method of presenting the results as the themes prepares us to the following section where I will discuss each of the themes separately with the theories, and we will establish how people have explained what and related it to my research construct.

4.2 EDUCATION AS A DRIVER OF RURAL DEVELOPMENT: A THEORETICAL PERSPECTIVE

The study reveals that education is the most important in the economic development of rural areas such as Monaragala. It coincides with concepts of Endogenous Growth Theory and the Human Capital Theory. Both theories clarify that education imparts knowledge and skills in addition to motivating new ideas, increased work output and values change which contributes

to the long-term growth.

Based on the Endogenous Growth Theory, education can be considered as an internal engine of development. What people learn is their knowledge, skills, and new ideas, which can assist them in identifying opportunities, utilizing the new technologies and completing a greater amount of work within their community? The research discovered that even a small amount of formal education does not make individuals see how beneficial their learning could be to agricultural affairs, business and community development. The acquired skills and new ideas in school are contagious, therefore, the development of one person can rub off on other people hence benefit the village economy widely. Education does not only add value to the individual but also it is a means of creating internal strength of the community in the journey of the growth of rural areas.

Human Capital Theory demonstrates that education is an investment that enhances the abilities of people, their output at work, and the earning power. According to the participants, learning provided them with improved opportunities, improved practical capabilities and modified their thoughts. Through education the rural folks are provided with means of enhancing agriculture, operating small businesses and securing alternative employment. It also develops such habits as discipline, planning and confidence, which contribute to long-term social and economic growth. Communities invest money and effort in human capital to increase their productivity and in addition, they generate new aspirations, interrupt the cycles of poverty, and generating a growth learning spirit.

When comparing both theories, it is satisfactory to note that education in Monaragala performs two tasks. It introduces new ideas and local problem solving (as well as Endogenous Growth Theory says) and it is also a paid investment in skills, knowledge and mind-sets that enhance work output and job opportunities (as Human Capital Theory says). The research reveals that knowledge and skills initiate business and a new idea, and at the same time, investing into people guarantees them the ability to apply their skills to both better their lives and community development.

In general, the combination of theories indicates that education is not only about receiving certificates. It is a strong transformer that brings change in the economic growth as well as social change. With providing a foundation in which one can learn more, building the skills and altering the way people think, education allows rural populations to change their status of getting someone to assist them into developing the solutions and the ability to develop themselves. This dual impact, which is evident in the narrations of the participants, justifies the applicability of these theories to the kind of explanation of the relationship between education and economic development in Monaragala.

It is this twofold influence as proved by the experience of the participants that makes the theories relevant to demonstrate how learning can develop village economies

4.3 KEY FINDINGS

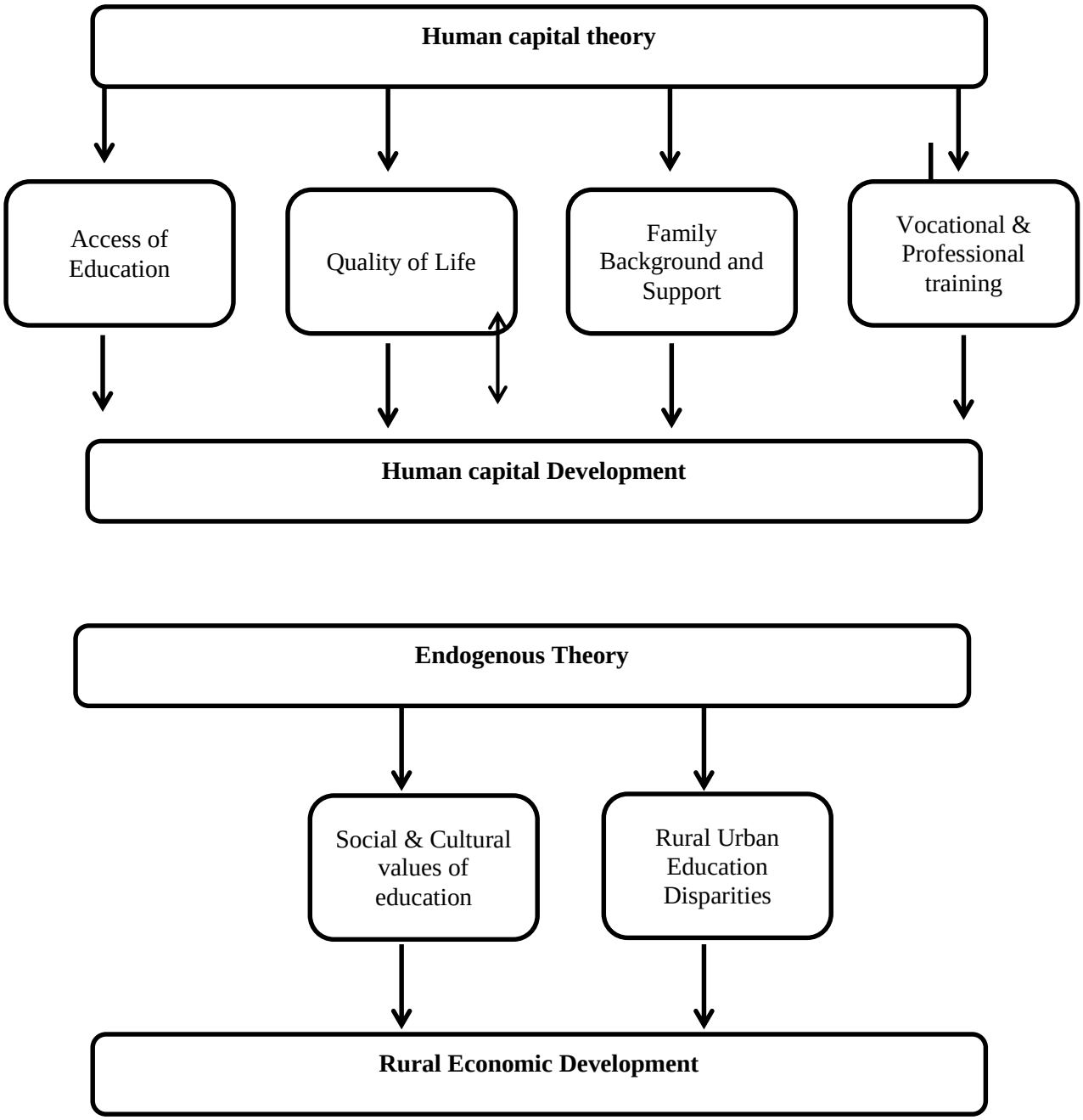


Figure 4.3 Key Findings

Figure 4.3 Key Findings on Education and Rural Economic Development

The figure indicates that there is a relationship between education and the rural economic development in Monaragala District. It begins with the availability of schooling and this determines the quality of education. This is also is influenced by family background and support. These are what determine the level of vocational and professional training that people receive and this forms human capital.

This is explained by the Human Capital Theory. According to it, education provides more knowledge to people, skills and assists them in working more efficiently. The human capital, at that time, combines with the social and cultural values of education, impacting the way the community thinks and what it desires.

Subsequently, the discrepancies between rural and urban schools are apparent. Rural students are hardly able to get higher opportunities. This aligns with the endogenous growth theory, which postulates local skills, knowledge and innovation are crucial in long-term growth.

A combination of all these influences the economic development in the rural areas. They also appear in the form of increased employment, increased business as well as increased revenues. This process becomes strong because of government assistance, policies, and resilience in the community.

5.0 CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS

This chapter contains conclusions and recommendations of the study, which examined the association between the level of education and economic growth in the Monaragala District. When talk about primary intention of the chapter is to outline the major conclusions of the findings and give some practical recommendations on how the connection between education and the local economic development can be reinforced. My aim of the study was to examine the penetrations of the access to education, quality of learning, and vocational opportunities on the socio-economic progressions of the rural communities.

The study adopted a qualitative design, primarily based on the interviews and observations, to obtain the actual experiences, viewpoints, and perceptions of the rural residents, teachers, and other stakeholders in Monaragala. This method enabled the researcher to have an in-depth insight into the contribution of education in terms of enhancing employment chances, income generation and living standards in the rural areas. The narratives made by the participants revealed that education is one of the factors influencing the development of individuals and the community despite the fact that some challenges are still present.

The chapter starts by giving the overall findings of the study, the conclusions and then the recommendation to the policymakers, educational authorities and the rural communities. It goes on to state implications of the findings and what needs to be done in future research. The last section gives a short summary of the chapter highlighting the importance of the findings of the study towards ensuring education induced rural development.

5.1 CONCLUSION

The aim of the study was to examine the correlation between education and the rural economic development in the Monaragala District. The results were clear on the fact that education is an essential factor in enhancing economic and social welfare of the rural populations. Availability of education, formal as well as vocational, has assisted most of the people to acquire vital skills, secure better jobs and elevate their income levels. Respondents insisted that education does not only facilitate personal development, but it helps in the development of the family and the community.

It was also observed in the research that education facilities that are better and trained educators are positively affecting the learning performance of students. Most rural dwellers feel that education is the solution to curb poverty and also develop the area. In addition, the research discovered that vocational and technical training especially assists the youth to gain practical skills demanded in the job market that in turn boosts the rural economy.

Nevertheless, there are numerous challenges even after these positive impacts. Poor access to good education, insufficient resources, transportation and poor awareness about the importance of education are some of the issues affecting many rural areas. Such problems deny certain children and the youth the opportunity to finish their education or acquire job relevant skills. Therefore, the economic development potential of the Monaragala District through education in not yet achieved.

On the whole, it can be stated that the research points to the improvement of the education system through increased access, quality, and relevance as one of the possible ways to promote

the economic growth of the rural regions. Education will continue to be one of the avenues of empowering people, diminishing inequality, and sustainable growth in the rural areas.

5.2 RECOMMENDATIONS

With the results of this study, it is possible to make a number of recommendations aimed at the improvement of the role of education in the rural economic development in the Monaragala District. The findings revealed that education positively influences employment and income generation, but there are numerous gaps which inhibit the optimal use of education. Thus, there should be effective measures that can enhance the quality and accessibility of education among the rural population.

To start with, access to education among children and the youth in remote areas should be enhanced. A significant number of the participants have emphasized that the distance to schools and poor transportation is the factor that discourages regular attendance. This problem would be overcome by setting up additional schools locally or offering good transport services. Further, the government and the community organizations must collaborate to modernize the school facilities in addition to making sure that the rural schools have adequate facilities like libraries, learning aids as well as technology-based tools.

Secondly, teaching quality should be enhanced so that the education would indeed lead to the development of skills and knowledge. It should be done by organizing continuous teacher training programs and professional development workshops to enable teachers to use modern and student-enterer teaching methods. Proper incentives and recognition should also be offered and encouraged to teachers in rural areas to minimize high turnover rates.

The other important recommendation is to facilitate vocational and technical education, which is directly in line with rural employment and entrepreneurship. The young people can be exposed to training programs on practical skills like agriculture, carpentry, tailoring or ICT to enable them to get job opportunities that suit the local economic needs. The schools, training centres and institutions in the private sector could also be partnered to establish job placements and internships.

Moreover, the community awareness programs ought to be held with an aim of bringing out the long-term gains of education. Most rural families still prefer to place more emphasis on immediate earnings instead of education. Sensitization can be used to motivate parents towards educating their children and to see it as the future of the family. This message can be actively disseminated by the local leaders and non-governmental organizations.

Lastly, it is advisable that the local government authorities, policymakers, and development agencies should consider the incorporation of education-based programs into a larger rural development plan. This involves a provision of more funds to rural education programs, school facilities, and provision of equal opportunities to girls and the underprivileged. The integration of education sector and economic development programs will aid in developing a sustainable growth in the Monaragala District, and other rural areas in Sri Lanka.

5.3 IMPLICATIONS OF FINDINGS

The results obtained in this study have significant policy, institutional, community development and scholarly research implications. In policy terms, the findings point to the fact that the national and local governments should focus more on rural education as an economic development engine. Enhancing school facilities, teacher training and making good learning materials available are critical in ensuring that the role of education is as far reaching as it can be in improving the lives in rural areas. Another policy to be proposed is that the policymakers need to incorporate learning programs with the growth and development programs of local economies, including vocational education and business development, to provide viable avenues between education and earnings.

In the case of educational institutions, the research applies the relevance of enhancing the quality of teaching and relevancy of education in relation to the economy of the rural community. This research can help the schools and teachers to implement student-focused pedagogies, to include vocational skills in the curriculum, and to engage the local organizations in offering the students the real-life learning experience. These steps can be used to make sure that education provides students with not only knowledge, but also practical skills, the direct results of which can be observed on the local level.

Community development is also important to the study. The findings explain the importance of education in curbing poverty and encouraging sustainable development in rural communities by demonstrating the relationship between education and the probability of employment, income, and social awareness. This knowledge can be used by the community leaders and local organizations to conduct awareness campaigns and help families prioritize education and create conditions in which young people can be encouraged to continue learning as a long-term investment to economic and social good.

Theoretically, the results are supportive of the Human Capital Theory that posits that as an investment in the education increases, it improves skills and productivity that will eventually result in economic growth. This study is based on qualitative findings in a rural setting that shows how education can help in the development of an individual and a society. It also provides information that may be used in future academic research studies and that is the need to investigate the lived experiences of the rural people so as to determine the true effects of education on the economy.

The implications of this study in general imply that education is to be regarded as both individual and social property. Policymakers, teachers, and other stakeholders of communities can collaborate to establish a sustainable economic development initiative in rural areas by resolving the challenges revealed in the study and adopting the recommendations presented.

5.4 AREAS FOR FURTHER RESEARCH

Even though this research presents valuable information in the process of influencing education and rural economic development within the Monaragala District, there is room that requires further research. Further research may focus on multiple rural districts in Sri Lanka in order to compare the impact of education on economic development across regions. This would assist in getting a better insight into local differences and challenges.

It would also be beneficial to apply a mixed-method approach in the future research. Although this paper concentrated on interviews and observations to obtain more detailed information, it is possible to combine it with quantitative data, such as the rates of employment, income levels, or the level of skills, to derive a more complete picture of how education influences the local economy. Other areas that could be researched by the researchers include the small businesses, improving farming, entrepreneurship, and utilization of technology in rural development. An insight into how education can enable individuals to excel in such aspects can be of good advice to policy makers and society. Further research might also involve women, marginalized communities, and individuals in informal employment to determine how education would help more people grow economically.

Lastly, it would be good to have long-term studies that trace the progress of people or communities over time. This would reveal the influence of education on the career, income, and a general development of the community in the long term. Investigating these domains would expand upon the results of this study and contribute to the development of improved approaches to enhance education and provide rural economic development with the sustainable growth.

REFERENCES

Ariyawansa, R. G. (2008). *Employability of graduates of Sri Lankan universities*. Sri Lankan Journal of Human Resource Management, 2(1). https://doi.org/10.4038/sljhrm.v2i1.511

Bandara, S., & Gunasekara, H. (2018). *Impact of primary education on agricultural productivity in rural Sri Lanka*. Journal of Rural Development Studies.

Becker, G. S. (1964). *Human capital: A theoretical and empirical analysis, with special reference to education*. University of Chicago Press.

Becker, G. S. (1993). *Human capital: A theoretical and empirical analysis, with special reference to education* (3rd Ed.). University of Chicago Press.

Central Bank of Sri Lanka. (2023). *Annual report 2022*. Central Bank of Sri Lanka.

De Silva, N., & Jayasuriya, S. (2017). *Higher education and rural development in Sri Lanka: Challenges and opportunities*. Sri Lanka Journal of Development Studies.

Department of Census and Statistics. (2023). *Sri Lanka Labour Force Survey: Annual report 2023*. Colombo: DCS.

Fernando, K. (2018). *Barriers to higher education in rural Sri Lanka: A case study of Monaragala District*. Journal of Education and Social Sciences.

Fernando, K., Perera, D., & Silva, M. (2017). *Teacher shortages and quality in rural Sri Lankan schools*. Education and Development Journal, 12(1), 25–39.

Fernando, R., & Herath, H. (2020). *The contribution of NGOs to rural skills development in Sri Lanka*. Journal of Development Practice, 8(1), 22–35.

Gunawardena, C., & Lekamge, G. D. (2019). *Education reforms in Sri Lanka: Towards a new skills-based economy*. International Journal of Education Development, 65, 102–110.

Gunawardena, C., et al. (2014). *Vocational education and employability in rural Sri Lanka*. University of Colombo.

Hanushek, E. A., & Woessmann, L. (2020). *The economic impacts of learning losses*. OECD.

Indigenous Navigator. (2023). Over 46% of state tribals face economic hardship: Survey. *The Times of India*.

Jayasinghe, R. (2016). *Barriers to higher education access in rural Sri Lanka*. Asian Journal of Education, 8(3), 120–135.

Jayawardena, P. (2014). *Education, employment and economic growth in Sri Lanka*. Institute of Policy Studies of Sri Lanka Working Paper Series.

Jayawardena, P. (2018). *Gender disparities in secondary education in rural Sri Lanka*. Journal of Gender and Development Studies, 15(2), 78–92.

Karunanayake, K., & Silva, R. (2021). *Vocational training and rural development: Lessons from Monaragala*. South Asia Education Review, 7(1), 43–59.

Karunaratne, I. (2019). *Teacher retention in rural Sri Lanka: Challenges and policy options*. International Journal of Educational Management, 33(4), 605–618.

Karunaratne, I., & Silva, T. (2017). *Adult literacy and economic participation in rural Sri Lanka*. Sri Lankan Journal of Adult Education, 14(1), 55–70.

Li, J., et al. (2022). *Digital development and rural financial inclusion: Evidence from China*. Science Direct. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0275531924004306

Ministry of Education, Sri Lanka. (2019). *Annual education statistics report*. Colombo, Sri Lanka.

Ministry of Education, Sri Lanka. (2022). *National education policy framework 2022–2032*. Ministry of Education.

Ministry of Higher Education, Sri Lanka. (2019). *Annual report on higher education*. Colombo, Sri Lanka.

Moyo, T., & Gasva, D. (2022). *Empowering rural communities: The role of financial literacy*

and management in sustainable development. Frontiers in Human Dynamics. https://www.frontiersin.org/journals/human-dynamics/articles/10.3389/fhumd.2024.1424126/full
National Education Commission. (2021). *Report on technical and vocational education and training (TVET) sector reforms in Sri Lanka*. Colombo: NEC.
Nussbaum, M. C. (2010). *Not for profit: Why democracy needs the humanities*. Princeton University Press.
OECD. (2019). *Skills matter: Additional results from the Survey of Adult Skills*. OECD Publishing.
OECD. (2023). *OECD Regional Outlook 2023*. https://www.oecd.org
Perera, H., & Weerakkody, M. (2020). *Empowerment through non-formal education: A study of rural women in Uva Province*. Sri Lankan Journal of Adult Education, 18(2), 101–116.
Perera, N. (2015). *School attendance and economic challenges in rural areas of Sri Lanka*. Journal of Social Sciences, 22(1), 89–102.
Perera, N., & Fernando, S. (2016). *Secondary school dropouts in rural Sri Lanka: Causes and consequences*. Journal of Social Sciences, 24(3), 112–128.
Psacharopoulos, G., & Patrinos, H. A. (2018). *Returns to investment in education: A decennial review of the global literature*. Education Economics https://doi.org/10.1080/09645292.2018.1484426
Ratnayake, R. M. (2019). *The impact of community-based vocational training on rural self-employment*. Journal of Rural Development Studies
Romer, P. (1994). *The origins of endogenous growth*. Journal of Economic Perspectives,
Samarathunga, W. (2020). *Rural development policies and practices in Sri Lanka: An overview*. Sri Lanka Economic Journal
Schultz, T. W. (1961). *Investment in human capital*. The American Economic Review, 51(1), 1–17.
Senanayake, D., & Perera, S. (2018). *Literacy and rural economic development in Sri Lanka*. International Journal of Rural Studies, 25(2), 90–107.
Senanayake, S. M. P. (2016). *Technical and vocational education and training (TVET) in Sri Lanka: Issues and challenges*. Journal of Education and Practice, 7(30), 1–8.
Silva, R., & Fernando, S. (2019). *Rural graduates' employability and migration patterns in Sri Lanka*. Economic Development Quarterly, 33(1), 34–47.
Silva, R., & Jayawardena, P. (2019). *Secondary education and employability in Sri Lankan rural districts*. Economic Development Quarterly, 33(1), 34–47.
Tilak, J. B. G. (2015). *Higher education and economic development in Asia*. International Journal of Educational Development, 41, 99–109.
Tilakaratna, G., & Gunasekara, V. (2020). *Education and inequality in Sri Lanka: Achievements and challenges*. Institute of Policy Studies of Sri Lanka (IPS).
Todaro, M. P., & Smith, S. C. (2020). *Economic development* (13th ed.). Pearson Education.
TVEC Sri Lanka. (2020). *National policy on TVET and adult learning*. Colombo: TVEC.
UNESCO. (2016). *Strategy for technical and vocational education and training (TVET) 2016–2021*. UNESCO Publishing.
UNESCO. (2017). *Global literacy trends and policies*. UNESCO Institute for Lifelong Learning.
UNESCO. (2021). *Global education monitoring report 2021/22: Non-state actors in education*. UNESCO Publishing.
United Nations Development Programme (UNDP). (2023). *Human development indicators Sri Lanka*. https://hdr.undp.org

Weerasinghe, D. (2019). *Community-driven vocational training in Sri Lanka: Challenges and success factors*. Sri Lanka Journal of Community Development, 6(2), 45–59.
Wijesinghe, L. (2017). *Digital literacy and youth employment in rural areas*. Sri Lanka Journal of Youth Studies, 10(4), 50–68.
World Bank. (2018a). *Education and rural development in South Asia: Policies and challenges*. Washington, DC: World Bank Publications.
World Bank. (2018b). *Skills development in Sri Lanka: Building a better workforce for growth*. Washington, DC: World Bank Group.
World Bank. (2021). *Sri Lanka development update: Economic transformation for a post-crisis future*. Washington, DC: World Bank.
World Bank. (2022). *the importance of education for economic growth*. Washington, DC: World Bank.
World Bank. (2023). *World development indicators 2023*. https://data.worldbank.org

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

PASSIVE DESIGN STRATEGIES TO IMPROVE THERMAL COMFORT IN THE DESIGN OF FACULTY OF ARCHITECTURE, FEDERAL UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, MINNA

Yisa David Ndakotsu
DR. Paul B Haruna
Department of Architecture, Federal University of Technology, Minna, Niger State.

ABSTRACT
Thermal discomfort in educational buildings across Nigeria's tropical savanna belt undermines academic performance and deepens dependence on mechanical cooling that the national electricity supply cannot reliably sustain. This study develops and evaluates a passive cooling design framework for the Faculty of Architecture at the Federal University of Technology, Minna, combining climatic characterisation, an occupant-perception survey (n = 150), and computational performance simulation. Eighty-three per cent of surveyed occupants rated existing conditions as unacceptable, and afternoon heat gain and poor air movement emerged as the dominant discomfort drivers; occupants ranked natural ventilation (76.0%), building orientation (67.3%) and roof overhangs (57.3%) as their preferred interventions. The resulting design framework - organised around north-facing orientation, a central stack-ventilated atrium, and vertical stacking of thermal zones - was tested through EnergyPlus, CFD and daylight simulation against a conventional reference baseline. Because no field monitoring or experimental validation of the simulation models was undertaken, all performance figures reported are simulation-predicted outcomes rather than measured or validated building performance. Subject to that caveat, and describing the combined effect of an integrated twelve-parameter design package rather than any single strategy, the proposed framework reduced modelled annual cooling energy demand by 44.6% (41.2% under mixed-mode operation), increased modelled annual comfort hours from 1,872 to 4,536 hours (21.4% to 51.8% of the 8,760-hour year), and achieved modelled indoor air velocities of 0.4-0.8 m/s under the prevailing simulated wind condition. The study contributes an occupant-informed, climate-specific, simulation-tested design framework for architecture faculty buildings in Nigeria's Middle Belt and identifies the field validation and incremental-strategy testing needed to strengthen it further.
Keywords: *Passive Cooling; Thermal Comfort; Tropical Savanna Climate; Architectural Education; Natural Ventilation; Building Orientation; Nigeria.*

1. INTRODUCTION
Buildings use nearly 40% of global energy, and the need for cooling is rising the fastest in cities that are not prepared (Mastrucci, *et al.*, 2022). In schools, uncomfortable temperatures can lower student performance. Passive design methods, which rely on natural elements to regulate climate, can reduce cooling energy by up to 50% in some areas, but they are not widely used (Papon 2026).

Nigeria's north-central states endure high solar radiation and inconsistent electricity supply, making air conditioning both costly and unreliable. According to a research by Obi-george *et al.*, (2025), the Faculty of Architecture at the Federal University of Technology, Minna, teaches climate-responsive design but lacks effective passive design strategies. Research shows a significant thermal dissatisfaction among occupants. This paper aims to characterize Minna's climate for passive cooling, identify suitable strategies for educational buildings, create an integrated design framework for the faculty, and simulate its thermal comfort and energy performance.

This research has four objectives: (1) analyse Minna's climate for passive cooling needs in educational buildings; (2) evaluate passive cooling strategies for architecture buildings in hot savannah areas; (3) propose a passive cooling design framework for FUT Minna; and (4) simulate and compare thermal comfort and cooling energy performance of the new design with a conventional one.

2. LITERATURE, CLIMATE, AND THEORETICAL POSITION

Minna has a tropical savannah climate with a dry season from November to April and a wet season from May to October (Ezenwora, *et al.*, 2025). The average temperature is around 27°C, with annual rainfall about 1,210 mm and humidity levels ranging from 18% to 88%. This climate requires design approaches that address both seasons. Research on passive cooling in Nigeria shows various effective strategies, including aligning buildings with prevailing winds for cooling-load reductions, high-performance glazing, and shading techniques. Cross-ventilation and high-mass materials also help manage temperature, while courtyard designs enhance cooling effects (Cortiços, and Duarte 2025). The text includes a table summarizing these strategies.

Table 1. Strategy-Suitability Matrix for Minna's Tropical Savannah Climate

Strategy	Dry-Season Effect.	Wet-Season Effect.	Evidence Strength	Primary Mechanism	Design Implication
Cross-ventilation	Moderate	High	Strong	Air movement & heat dissipation	Opposing openings, shallow floor plates
Solar shading	Very high	High	Strong	Direct solar-gain reduction	Deep overhangs, external louvres
Thermal mass	High	Moderate	Moderate	Heat buffering & time lag	High-mass envelope with night ventilation
Courtyard / atrium	Moderate	High	Moderate	Stack effect, shading, evaporative cooling	Central atrium with vegetation and water
Night ventilation	High	Limited	Limited	Heat discharge from thermal mass	Automated / manual operable openings
Vegetation	Moderate	High	Moderate	Microclimate cooling & evapotranspiration	Landscaped courts, green roofs, tree planting

(Source: Field Survey 2025)

The design work is framed by three theories: bioclimatic design, which uses climate data for comfort (Aghimien *et al.*, 2022); the ASHRAE 55 adaptive comfort model, linking indoor temperature to outdoor conditions, suitable for Nigeria's ventilated buildings (Adaji, and Adekunle 2025); and building-performance simulation as a design-evaluation tool (Souza, and Fabricio 2024). Research mainly focuses on Lagos, Ibadan, and Enugu, neglecting the Middle Belt savanna and specific architecture-faculty buildings. Most studies depend on field measurement or surveys, with few combining occupant evidence with dynamic simulation.

3. RESEARCH METHODOLOGY

The study uses a design-based approach that includes climate analysis, a survey about occupant perceptions, and computer simulations (Chowdhury, *et al.*, 2023). It emphasizes that the design is based on simulations and not direct measurements.

The study combined historical climate records from the Nigerian Meteorological Agency and the EnergyPlus TMY3 database with data collected from site surveys (Rady, *et al.*, 2025), solar-path modelling, microclimatic observation, and a structured questionnaire. The questionnaire was based on literature, reviewed by three Nigerian climate experts, and tested with twenty respondents. It covered seven passive-design areas. The internal consistency was acceptable to good, but a further reliability analysis is advised before reusing the instrument and future publications should report updated figures.

A stratified random sample of the School of Architecture's 2025/2026 occupants yielded 150 valid responses (74.7% students, 18.7% academic staff, 6.7% non-academic staff), with a minimum six-month occupancy requirement and fieldwork conducted in the wet season (June–July 2026). Respondents were drawn mainly from design studios (41.3%), lecture theatres (18.0%), offices and workshop/laboratory spaces (13.3% each), and seminar rooms (8.7%).

Climate Consultant 6.0 helped assess the climate using a full annual dataset and performed solar-path and CFD wind-flow analysis for ventilation. The design concept reinterprets the West African compound with three main aspects: studio spaces facing north, a central atrium for thermal buffering and ventilation, and stacking heat-generating functions below studio spaces (Xu 2016). This design was tested using EnergyPlus, ANSYS Fluent, and Radiance against a conventional baseline.

4. RESULTS AND DISCUSSION

4.1 Occupant experience of the existing building

Discomfort ratings for eight indicators were high, especially for stagnant air (4.21) and internal heat gain (4.15), indicating the need for better ventilation. On the ASHRAE scale, 78.7% felt warm or neutral, and 83.3% found conditions unacceptable. Most (94.7%) preferred cooler environments.

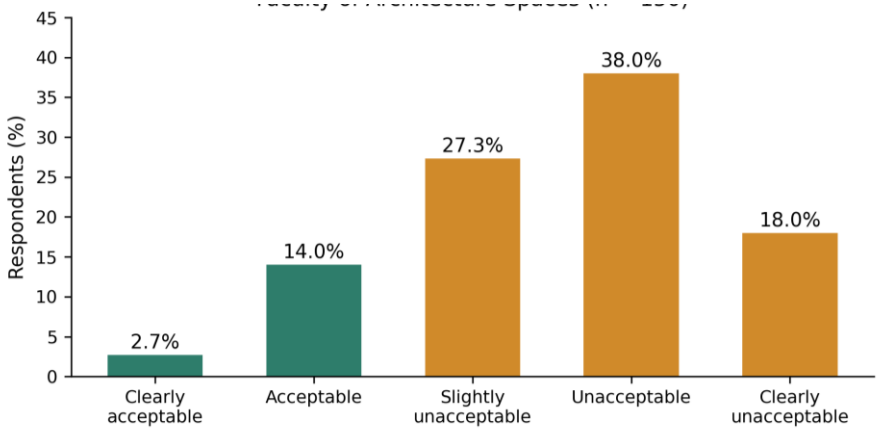


Figure 1. Thermal acceptability ratings of existing Faculty of Architecture spaces (n = 150). Source: field survey, 2026.

(source: field survey 2025)

4.2 Occupant priorities for intervention

All seven passive-design categories received similar scores, showing that occupants generally support passive design (Kujundzic, *et al.*, 2023). When looking at specific strategies, natural ventilation and operable windows (76.0%), building orientation (67.3%), and roof overhangs (57.3%) were the most preferred. In contrast, evaporative cooling (7.3%) and night cooling (5.3%) were the least preferred. Additionally, 58% of respondents reported afternoon discomfort, indicating a widespread issue. While 67% supported passive strategies and many valued thermal comfort, practical concerns, like keeping windows operable, were sometimes overlooked.

4.3 Simulated performance of the proposed framework

Table 2 shows the comparison between the new design and the ASHRAE 90.1 baseline. Annual cooling energy demand decreased by 44.6%, and peak cooling load dropped by 39.5%. Comfort hours increased from 1,872 to 4,536, with studio temperatures reduced to a range of 23–28°C. The study cannot determine specific contributions from individual design strategies yet.

Table 2. Summary of Occupant-Reported Evidence and Simulated Performance Outcomes

Evidence Domain	Indicator	Result
Existing conditions	Thermal sensation vote (warm of neutral)	78.7% of respondents
Existing conditions	Rated existing conditions unacceptable (ASHRAE 55, 80% threshold)	83.3% of respondents
Existing conditions	Preferred cooler conditions	94.7% of respondents
Discomfort driver	Highest-scoring discomfort item: stagnant / stale air	M = 4.21 / 5.0
Preferred strategy	Natural ventilation / operable windows	76.0% ranked top-3
Preferred strategy	Building orientation	67.3% ranked top-3
Preferred strategy	Roof overhangs	57.3% ranked top-3
Simulated performance	Annual cooling energy demand	–44.6% vs baseline
Simulated performance	Annual comfort hours (of 8,760)	1,872 → 4,536 (+142%)
Simulated performance	Modelled indoor air velocity (studio)	0.4–0.8 m/s

(source: field survey 2025)

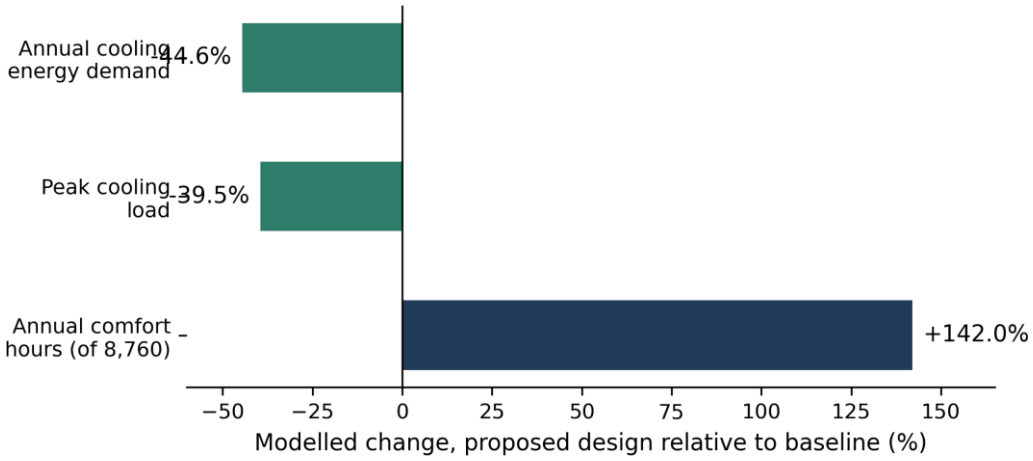


Figure 2. Modelled change in key performance indicators, proposed integrated design vs. reference baseline. Source: author's simulation, 2026.

(source: field survey 2025)

CFD results indicated the baseline airflow in the studio was low at 0.05–0.15 m/s, increasing to 0.4–0.8 m/s with the new design, meeting ASHRAE 55 comfort standards. The atrium created 15–25 air changes per hour, contributing 30–40% of ventilation during peak season, with cross-ventilation possible in about 85% of the floor area (Wang, *et al.,* 2025). Daylight simulation showed 72–85% spatial daylight autonomy, with limited glare risk. The analysis found that changes in glazing solar heat gain coefficient significantly affected cooling demand, guiding design efforts.

4.4 Reading the two evidence streams together

Three main points are highlighted from comparing occupant and simulation evidence. First, solar gain and poor air movement increase discomfort together, meaning shading and ventilation should not be treated separately (Irfeey, et al., 2023). Second, the atrium and deep north-facing overhangs address the afternoon discomfort noted by 58% of occupants, justifying these major design choices with actual data (Overen 2022). Third, since discomfort is widespread, fixing individual rooms won't work; a building-wide approach is needed. The design is expected to provide good natural ventilation most of the time, suggesting minimal reliance on mechanical systems for comfort.

5. CONCLUSION

This study developed a passive cooling framework for the Faculty of Architecture at FUT Minna, informed by occupant feedback and local climate conditions (MENEGBE 2023). It found that occupants felt uncomfortable mainly due to stagnant air and heat gain, particularly in the afternoons. Simulations showed that a design with north orientation and stack ventilation could reduce cooling energy needs by 44.6% and significantly increase comfort hours from 1,872 to 4,536 annually (Vassiliades, *et al.,* 2025). The study links occupant comfort to design choices and uses advanced simulation methods.Beyond its own building, the framework serves both pedagogical and practical purposes, demonstrating that climate-responsive design is effective. However, limitations exist, such as data collection being confined to the wet season, use of typical meteorological data instead of actual microclimate conditions, lack of verification for CFD outputs, and absence of field monitoring to confirm model predictions. Future efforts should focus on post-occupancy evaluations, individual strategy testing, dry-season occupant surveys, and cost-benefit analysis of mechanical cooling reliance. Without such validation, the presented figures should be viewed as hypotheses rather than confirmed performance metrics.

REFERENCES

Adaji, M. U., & Adekunle, T. O. (2025). Optimising indoor air quality and thermal comfort in residential buildings: integrating passive strategies and low-cost monitoring technologies in Sub-Saharan Africa.

Aghimien, E. I., Li, D. H. W., & Tsang, E. K. W. (2022). Bioclimatic architecture and its energy-saving potentials: A review and future directions. *Engineering, Construction and Architectural Management*, *29*(2), 961-988.

Chowdhury, S., Noguchi, M., & Doloi, H. (2023). Methodological approach of environmental experience design to enhancing occupants' well-being, Bangladesh. *Buildings*, *13*(2), 542.

Cortiços, N. D., & Duarte, C. C. (2025). Environmental comfort and energy efficiency: Compendium for architectural practice. *Preprints*.

Ezenwora, J. A., Igwe, K. C., Muhammad, S., & Ibekwe, E. C. (2025). SOLAR RESOURCE AVAILABILITY AND PHOTOVOLTAIC POWER SYSTEM DESIGN MONTH IN MINNA, NIGER STATE NIGERIA. *Journal of Sustainable Energy*, *16*(1), 44.

Irfeey, A. M. M., Jamei, E., Chau, H. W., & Ramasubramanian, B. (2023). Enhancing occupants' thermal comfort in buildings by applying solar-powered techniques. *Architecture*, *3*(2), 213-233.

Kujundzic, K., Stamatovic Vuckovic, S., & Radivojević, A. (2023). Toward regenerative sustainability: A passive design comfort assessment method of indoor environment. *Sustainability*, *15*(1), 840.

MacNicol, R. (2023). *Coping together?: Metro Vancouver tenants' engagement with mutual aid during extreme heat events* (Doctoral dissertation, University of British Columbia).

Mastrucci, A., Byers, E., Pachauri, S., Rao, N., & Van Ruijven, B. (2022). Cooling access and energy requirements for adaptation to heat stress in megacities. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, *27*(8), 59.

MENEGBE, M. M. (2023). *EVALUATION OF THE COOLING PERFORMANCE IN THE DESIGN OF A CONVENTION CENTRE IN MINNA, NIGER STATE, NIGERIA* (Doctoral dissertation).

Obi-george, L. C., Ifebi, O. C., Adegoke, S. A., Nzewi, N. U., Eze, C. J., & Maduka, N. M. (2025). Examining the impact and perception of thermal comfort on student performance in architectural studios. *Journal of Technology in Architecture, Design and Planning*, *3*(1), 70-85.

Overen, O. K. (2022). *Modelling and Analysis of Daylighting Relative to Energy Consumption of a Heritage Category A3 Building Under Energy Zone 4 in South Africa* (Master's thesis, University of the Witwatersrand, Johannesburg (South Africa)).

Papon, M. M. R. (2026). CLIMATE-SMART ARCHITECTURE: PASSIVE STRATEGIES FOR BETTER LIVING. *Int. J. Trendy Res. Eng. Technol*, *10*(2).

Rady, M., Muhammad, M. K. I., & Shahid, S. (2025). Evolving typical meteorological year (TMY) data for building energy simulation: A comprehensive review of methods, challenges, and future directions. *Advances in Building Energy Research*, *19*(3), 269-299.

Souza, M. P. D., & Fabricio, M. M. (2024). BIM and virtual reality for pre-design evaluation of building performance. *Architectural Engineering and Design Management*, *20*(5), 1260-1279.

Vassiliades, C., Kourougianni, F., Olympios, A., & Georghiou, G. E. (2025). Staircase configurations of two-story single-family houses in Mediterranean climate: Impact of stack effect on cooling loads and natural ventilation. *Energy Efficiency*, *18*(8), 103.

Wang, L., Ibrahim, A., & Jiang, Y. (2025). Multi-objective optimization of atrium form variables for daylighting, energy consumption and thermal comfort of teaching buildings at the early design stage in cold climates. *Buildings*, *15*(24), 4434.

Xu, R. (2016). Research on Building Layout Driven by Energy Flow in Humid Tropics: Take the living space of HALE KUAHINE Dormitory in Honolulu as a thermal comfort simulating object.

THE PREVALENCE OF ALLERGIC RHINITIS AND ASSOCIATED FACTORS AMONG NURSING AND HEALTH TECHNICIAN STUDENTS IN SOUTHEASTERN MOROCCO

Abdessamad MOUHSSINE
Cellular Signaling Team, Faculty of Sciences Meknes, Moulay Ismail University, Morocco.
Biological and Health Sciences Team, Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques, Ministry of Health, B.P. 45000, Ouarzazate, Morocco.
Houssine MAROUANI
Biological and Health Sciences Team, Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques, Ministry of Health, B.P. 45000, Ouarzazate, Morocco.
Elhabib ROUR
Cellular Signaling Team, Faculty of Sciences Meknes, Moulay Ismail University, Morocco.
Abdelaati EL KHIAT
Biological and Health Sciences Team, Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques, Ministry of Health, B.P. 45000, Ouarzazate, Morocco.
Brahim EL HOUATE
Cellular Signaling Team, Faculty of Sciences Meknes, Moulay Ismail University, Morocco.
Biological and Health Sciences Team, Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques, Ministry of Health, B.P. 45000, Ouarzazate, Morocco.
Fouad BENHENINI
Cellular Signaling Team, Faculty of Sciences Meknes, Moulay Ismail University, Morocco.

ABSTRACT

Objective : Allergic rhinitis is prevalent among young adults; however, epidemiological evidence from southeastern Morocco is scarce. The objective of this investigation was to ascertain the prevalence of allergic rhinitis, identify the predominant allergen, evaluate the severity of nasal symptoms, and identify factors that are associated with allergic rhinitis in nursing and health technician students.

Methods : From March to May 2026, an analytical cross-sectional study was conducted among 400 students at a nursing and health technician training institute in southeastern Morocco. The Nasal Obstruction Symptom Evaluation (NOSE) scale was employed to evaluate the severity of nasal symptoms, and the Score For Allergic Rhinitis (SFAR ; cut-off ≥7) was employed to identify allergic rhinitis. Univariate analyzes (Chi-square test, Fisher's exact test, Mann–Whitney U test) and multivariable logistic regression were implemented to investigate sociodemographic and environmental variables.

Results: The prevalence of allergic rhinitis was 36.8% (147/400). Moderate severity was the most prevalent category (53.1%), and students with allergic rhinitis had significantly higher NOSE scores than those without (44.39±20.95 vs 18.64±13.92; $p<0.001$). Pollens were the most frequently cited allergen (56.5%), with home dust mites following closely behind (34.7%). The condition was inversely associated with lower maternal education, while allergic rhinitis was independently associated with pollen environment exposure (adjusted odds ratio [aOR]=2.94, 95% confidence interval [CI] 1.85–4.66), pollution exposure (aOR=1.99, 95% CI 1.09–3.66), passive smoking (aOR=1.86, 95% CI 1.03–3.37), and humidity exposure (aOR=1.82, 95% CI 1.02–3.27).

Conclusion : Allergic rhinitis was a significant issue in this population, affecting over one-

third of students and characterized by a significant nasal symptom burden and strong environmental associations. Similar student populations necessitate targeted environmental prevention strategies and health education programs.
Keywords : Allergic rhinitis; Environmental exposure; Morocco; Nasal Obstruction Symptom Evaluation; Prevalence; University student

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

THE ROLE OF TECHNOLOGY IN FINANCIAL INCLUSION-BANK PERFORMANCE NEXUS IN NIGERIA

Taiwo Akinlo
Adeyemi Federal University of Education,
Faculty of Management and Social Sciences,
Department of Economics, Ondo, Nigeria
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-1415-4241

Abstract
Over the past few decades, Nigeria has seen a number of financial sector reforms as well as the rise of fintech. Nevertheless, research has examined how financial inclusion affects financial performance without taking information technology into account. From 2006 to 2022, this study examined how information technology affected the relationship between financial inclusion and the financial performance of selected Nigerian deposit money institutions. The study analysed data from 13 deposit money institutions listed on the Nigerian stock exchange using the Panel Autoregressive Distributed Lag (PMG) method. Financial performance was measured in this study using return on equity (ROE) and return on assets (ROA), while financial inclusion was measured using ATM penetration. The study found that ATMs as a measure of financial inclusion produced a negative effect on the financial performance of selected deposit money banks in Nigeria in the short-and long-run. Similarly, the study found that internet does not enhance the performance of selected deposit money banks in Nigeria in the short-and long-run. However, the study found that information technology improves the impact of financial inclusion on financial performance of selected Nigerian deposit money institutions in Nigeria. There is a need for policymakers in the financial sector to introduce financial products with low fees and a minimum balance requirement that can attract low-income earners and thereby increase financial inclusion.
Keywords: Financial inclusion, information technology, bank performance, PMG, Nigeria

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

WOMEN AS KNOWLEDGE PRODUCERS IN CLASSICAL ISLAMIC CIVILISATION

Associate Professor Dr. Naseem Akhter
Department of Islamic Studies
Shaheed Benazir Bhutto Women University, Peshawar, Pakistan
(ORCID ID: 0000-0002-7077-6993)

Abstract
Women played a substantive role in the production, transmission, preservation, and validation of knowledge in classical Islamic civilisation, yet their intellectual contributions have often remained marginal within conventional narratives of Islamic intellectual history. This article reexamines women not merely as recipients or transmitters of established knowledge but as active **knowledge producers** who participated in scholarly networks, teaching circles, textual transmission, and the formation of authoritative intellectual traditions. Drawing on biographical dictionaries, *ijāzāt* (scholarly authorisations), hadith collections, historical accounts, and studies of Islamic scholarly institutions, the article investigates the diverse ways in which women exercised intellectual agency across different fields and social settings. It argues that women's participation in knowledge production was not an isolated phenomenon but part of broader structures of scholarly mobility, teacher–student relationships, patronage, and institutional transmission that shaped classical Islamic intellectual life. The study further shows that women's authority was established through recognised scholarly practices, including teaching, transmitting hadith, granting *ijāzāt*, and participating in scholarly communities. By shifting the analytical focus from women as "exceptional scholars" to women as participants within wider systems of knowledge production, the article offers a more integrated account of intellectual authority and scholarly networks in classical Islamic civilisation. It contributes to contemporary debates on gender, intellectual history, and Islamic knowledge traditions by demonstrating that women formed an important, though unevenly documented, component of the social infrastructure through which Islamic knowledge was produced and sustained.
Keywords: Women Scholars; Knowledge Production; Classical Islamic Civilisation; Islamic Intellectual History; Gender and Knowledge; *Ijāzah*; Scholarly Networks

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND HUMAN MORAL RESPONSIBILITY: AN ISLAMIC ETHICAL PERSPECTIVE

Associate Professor Dr. Naseem Akhter
Department of Islamic Studies
Shaheed Benazir Bhutto Women University, Peshawar, Pakistan
(ORCID ID: 0000-0002-7077-6993)

Abstract

The rapid development of artificial intelligence (AI) is transforming how humans make decisions, exercise judgment, and distribute responsibility across increasingly autonomous technological systems. While existing debates often focus on AI safety, accountability, and regulatory governance, they frequently leave unresolved a fundamental ethical question: who bears moral responsibility when AI systems participate in decisions that produce significant human consequences? This article examines human moral responsibility in the age of AI from an Islamic ethical perspective. It argues that Islamic ethics provides a distinctive framework for understanding responsibility by locating moral agency primarily in human intention, knowledge, choice, and accountability before God, rather than attributing moral responsibility to technological systems themselves. Drawing on Qur'anic principles, Prophetic traditions, and classical Islamic ethical thought, the study develops an Islamic framework for evaluating human responsibility across the design, deployment, supervision, and use of AI. It further distinguishes between technical autonomy and moral agency, showing why increasing computational autonomy does not necessarily transfer ethical responsibility from humans to machines. The article proposes that *taklīf* (moral responsibility), *niyyah* (intention), *amānah* (trust/responsibility), *ʿadl* (justice), and avoidance of harm provide interconnected principles for governing human engagement with AI. By bringing Islamic moral reasoning into contemporary AI ethics, the article contributes to wider debates on accountability and responsible technological governance and demonstrates how Islamic ethics can offer a substantive framework for preserving human moral agency in technologically mediated decision-making.

Keywords: Artificial Intelligence; Human Moral Responsibility; Islamic Ethics; Moral Agency; *Taklīf*; *Amānah*; AI Accountability

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

PERCEIVED KNOWLEDGE AND IMPORTANCE OF HYDRATION AMONG TRADERS IN IPATA MARKET, ILORIN SOUTH LGA, KWARA STATE

Barakah. A. Masuud
Kafayah . A. Jiddah
Department of Health Promotion and Environmental Health Education,
University of Ilorin, Ilorin, Nigeria.

INTRODUCTION:
Ipata Market is one of the largest markets in Ilorin South LGA. Traders spend 8-12 hours daily in a hot, open environment with high physical and mental demands. Water constitutes about 70% of the human body and is essential for regulating body temperature, cognitive function, and physical performance. Research shows that even mild dehydration of <5% body weight can impair blood flow to the brain, leading to reduced attention, short-term memory, and reaction time. Despite this, the level of knowledge and perception of hydration among Nigerian market traders is poorly documented

OBJECTIVES:
To: i. Assess traders' perceived knowledge of recommended daily water intake and signs of dehydration ii. Examine self-reported hydration practices during market hours iii. determine traders' perceived importance of hydration on energy, mood, and sales iv. Identify perceived barriers to adequate hydration in the market

METHODS:
This study adopted a descriptive cross-sectional survey design. The Population of the research consists of 1500 traders. A total of 120 respondents were selected using stratified random sampling techniques. A structured questionnaire divided into sections A and B was used for data collection. The instrument was validated by experts in Health Education. A pilot test was conducted and reliability was established using Cronbach Alpha with a coefficient of 0.78. Data were analyzed using descriptive statistics and chi-square test of independence at 0.05 level of significance.

FINDINGS:
The finding reveled that; socio-demographics data majority of the respondents were females 73(61.9%) aged 30-39 years 42(35.6%) and have been trading for 5-10 years 48(40.7%); Perceived Knowledge, majority of the traders 73(61.9%) had poor knowledge of hydration. While most knew that water improves concentration 94(79.7%), less than half knew the recommended daily intake 56(47.5%). Hydration Practices: Hydration practices were poor as 51(43.2%) drank water less than 3 times during market hours. Only 49.2% mainly drank plain water. Perceived Importance: Despite poor knowledge and practices, respondents had a high perception of the importance of hydration with a grand mean score of 3.21 ± 0.52. They agreed that hydration improves energy and thinking during trading. Barriers: Major barriers to adequate hydration were forgetting to drink until thirsty 72(61.0%) and cost of buying water 68(57.6%). Hypothesis: There was a significant relationship between sex and perceived importance of hydration ($x^2 = 4.321$, df = 1, p = 0.038 < 0.05) level of significance.

CONCLUSION:
Based on the findings of this study, it is concluded that traders in Ipata Market have poor knowledge and poor hydration practices despite having a high perception of the importance of hydration to their health and trading performance.

RECOMMENDATIONS:

Health educators should organize regular health education and sensitization campaigns in Ipata Market on the importance of hydration, signs of dehydration, and recommended daily water intake. Government

Provide access to clean and affordable drinking water within the market. Designate water points

KEYWORDS: Hydration, Perceived Knowledge, Traders, Ipata Market, Ilorin

DIGITAL INCLUSION AND WOMEN'S ECONOMIC EMPOWERMENT IN PAKISTAN: EXAMINING THE ROLE OF DIGITAL SKILLS AND FINANCIAL ACCESS

Dr. Ayesha Batool
Ph.D, Department of Rural Sociology, University of Agriculture, Faisalabad-
Hafsa Naeem
Ph.D. Scholar, Department of Biochemistry, University of Agriculture, Faisalabad
Dr.Sobia Maqsood
Assistant Professor, National Business School, The University of Faisalabad.

Abstract
Digital transformation has created new opportunities for employment, entrepreneurship, education, and financial inclusion; however, unequal access to digital technologies continues to limit the participation of women in Pakistan's emerging digital economy. This study examines the relationship between digital inclusion and women's economic empowerment, focusing on how digital literacy, access to digital devices, internet connectivity, and digital financial services influence women's ability to participate in economic activities. The study proposes a gender-responsive analytical framework to investigate the barriers preventing women from benefiting equally from digital transformation. Particular attention is given to socioeconomic status, educational attainment, geographical location, household responsibilities, affordability of digital services, digital skills, online safety, and social and cultural norms. The study further examines whether access to mobile banking, digital payment systems, online marketplaces, and remote employment platforms can improve women's financial independence and economic participation. A mixed-methods research approach is proposed, combining quantitative assessment of women's access to digital technologies with qualitative investigation of their experiences, challenges, and perceptions regarding digital economic opportunities. Gender-disaggregated data will be used to identify disparities in digital access and participation, while interviews and community-level consultations will provide insights into the social and institutional factors shaping women's digital engagement. The study argues that digital inclusion should be considered an important component of contemporary gender equality and sustainable development strategies. Providing women with affordable digital access alone may not be sufficient; complementary interventions involving digital skills training, financial literacy, online safety, accessible financial services, and supportive institutional policies are also required. The findings are expected to provide practical recommendations for policymakers, development organizations, financial institutions, and community stakeholders seeking to reduce the gender digital divide and strengthen women's economic empowerment in Pakistan.

Keywords: Digital inclusion; women's empowerment; gender digital divide; digital literacy; financial inclusion; economic participation; Pakistan.

AI-DRIVEN INTELLIGENT COMPUTING: EMERGING APPLICATIONS, CHALLENGES AND FUTURE PERSPECTIVES

S Sivasakthi
Assistant Professor,
Department of Computer Applications,
G. Venkataswamy Naidu College, Kovilpatti, Tamilnadu, India.
[Orcid ID:0000-0001-8550-2226]

Abstract

Artificial Intelligence (AI) has become a transformative technology in the field of computing, enabling machines to perform tasks that traditionally require human intelligence, such as learning, reasoning, perception, decision-making, and language understanding. The integration of AI with modern computing has resulted in the emergence of intelligent systems capable of processing large volumes of data, identifying complex patterns, and providing automated solutions. This article explores the major applications, challenges, and future perspectives of AI-driven intelligent computing. Emerging technologies such as machine learning, deep learning, generative AI, natural language processing, computer vision, edge AI, and intelligent cybersecurity are discussed with their applications in education, healthcare, finance, transportation, agriculture, and business. The article also examines challenges related to data privacy, security, algorithmic bias, transparency, computational requirements, and ethical considerations. Furthermore, future developments including human–AI collaboration, autonomous systems, explainable AI, edge intelligence, and responsible AI are highlighted. The study emphasizes that AI-driven intelligent computing has significant potential to improve efficiency, innovation, and decision-making across different sectors. However, responsible development, appropriate governance, skilled professionals, and ethical practices are essential for achieving sustainable benefits from AI technologies.

Keywords: Artificial Intelligence, Intelligent Computing, Machine Learning, Deep Learning, Generative AI, Edge AI, Explainable AI, Responsible AI.

GLYCEMIC AND RENAL PROFILES ASSOCIATED WITH SGLT2 INHIBITOR THERAPY IN ALGERIAN PATIENTS WITH METABOLIC SYNDROME

MOSTEFAOUI Leila
Research Laboratory on Biological Systems and Geomatics (LRSBG),Department of Biology, Faculty of Sciences of Nature And Life, University of MustaphaStambouli, Mascara 29000, Algeria.
HADJARI Mohammed
Technological Laboratory for Artificial Intelligence and Food Security(LABTEC-AI), Research Unit on Food Safety and Contaminant Monitoring (FSCM),Department of Biology, Faculty of Sciences of Nature And Life, University of Mustapha Stambouli, Mascara 29000, Algeria.
Khaladi Hadj Mostafa
Technological Laboratory for Artificial Intelligence and Food Security(LABTEC-AI), Research Unit on Food Safety and Contaminant Monitoring (FSCM),Department of Biology, Faculty of Sciences of Nature And Life, University of Mustapha Stambouli, Mascara 29000, Algeria.

Abstract
Background:
Metabolic syndrome is a major cardiometabolic condition characterized by a combination of metabolic abnormalities, including impaired glucose regulation and increased cardiovascular and renal risk. Sodium-glucose cotransporter 2 (SGLT2) inhibitors have emerged as an important therapeutic option in patients with type 2 diabetes, with potential benefits extending beyond glycemic control.
Objective:
This study aimed to assess glycemic and renal profiles associated with SGLT2 inhibitor therapy in Algerian patients with metabolic syndrome.
Methods:
A multicentre observational comparative study was conducted among adults with metabolic syndrome receiving different antidiabetic treatment regimens. Glycemic and renal parameters were assessed and compared between treatment groups to characterize differences in metabolic and renal profiles.
Results:
Patients receiving SGLT2 inhibitor-containing regimens showed differences in glycemic and renal profiles compared with other treatment groups. Overall, the findings suggest a favorable metabolic and renal profile associated with SGLT2 inhibitor therapy. However, the observational design does not allow a causal interpretation of these differences.
Conclusion:
SGLT2 inhibitor-containing regimens were associated with distinct glycemic and renal profiles in Algerian patients with metabolic syndrome. These findings support the potential relevance of SGLT2 inhibitors in the integrated management of metabolic and renal risk, while further longitudinal studies are needed to confirm these observations.
Keywords: SGLT2 inhibitors; Dapagliflozin; Metabolic syndrome; Glycemic control; Renal profile; Type 2 diabetes mellitus.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

INFLUENCE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE UTILISATION ON ENTREPRENEURIAL SKILL DEVELOPMENT AMONG BUSINESS EDUCATION STUDENTS IN COLLEGES OF EDUCATION IN OGUN STATE NIGERIA

KUYEBI, Abiodun David
OLORODE Jide John (Ph.D)
SALAMI, Rofiat Olayinka (Ph.D)
Business Education Department,
Federal College of Education Abeokuta, Nigeria.

ABSTRACT
This study examined the influence of Artificial Intelligence (AI) utilisation on entrepreneurial skill development among Business Education students in Colleges of Education in Ogun State, Nigeria. A descriptive survey research design was adopted, and data were collected using a structured questionnaire administered to 150 Business Education students selected from selected Colleges of Education through simple random sampling technique. Four research questions and four hypotheses guided the study. Data were analyzed using mean and standard deviation to answer the research questions, while Pearson Product Moment Correlation (PPMC) was used to test the hypotheses at a 0.05 level of significance. The findings revealed that AI utilisation has a high positive influence on the entrepreneurial skill development of Business Education students, particularly in enhancing creativity, innovation, problem-solving ability, digital marketing skills and business decision-making. The results also showed that there are significant challenges affecting the effective utilisation of AI, including inadequate access to AI tools, poor digital infrastructure, limited technical knowledge, unstable power supply and high cost of technological resources. Furthermore, the study established a significant positive relationship between AI utilisation and entrepreneurial skill development, while the challenges associated with AI utilisation were found to have a significant negative relationship with skill development. The study concluded that AI utilisation is essential for improving entrepreneurial competencies among Business Education students. It was therefore recommended that government and educational stakeholders should invest in digital infrastructure, integrate AI into the curriculum and provide continuous training programmes for both students and educators to enhance effective utilisation of AI technologies.
KEYWORDS: Artificial Intelligence, Entrepreneurial skills and Business Education

INTRODUCTION
Education is universally recognized as a vital instrument for national development, economic transformation, and human capital development. In the contemporary global economy, education is expected not only to impart theoretical knowledge but also to equip learners with practical, entrepreneurial, and technological skills necessary for self-reliance and sustainable development. In Nigeria, Business Education plays a significant role in preparing students with vocational, managerial, and entrepreneurial competencies required for employment and business creation. According to the Federal Republic of Nigeria (2013), Business Education is an aspect of vocational and technical education designed to develop individuals with the knowledge, attitudes, and practical skills necessary for effective participation in the world of work. In recent years, the emergence of Artificial Intelligence (AI) technologies has increasingly transformed educational practices and entrepreneurial activities across the world, thereby creating new

opportunities for skill acquisition and innovation (UNESCO, 2024; Adeyemo & Olaniyi, 2023). Artificial Intelligence refers to computer systems and digital technologies capable of performing tasks that normally require human intelligence, such as learning, reasoning, problem-solving, decision-making, language understanding, and data analysis. AI technologies include machine learning systems, chatbots, virtual assistants, predictive analytics, robotics, automated business applications, and intelligent tutoring systems (Russell & Norvig, 2022). The rapid advancement of AI has significantly influenced different sectors of society, including business, healthcare, agriculture, finance, and education. In the educational sector, AI has introduced innovative teaching and learning approaches that enhance students' engagement, creativity, and access to information (Holmes et al., 2023). The integration of AI into teaching and learning environments has become increasingly important in higher institutions as it supports personalized learning, improves instructional delivery, and prepares students for participation in a digitally driven economy.

The growing relevance of entrepreneurship in national economic development has also increased the importance of entrepreneurial skill acquisition among students in tertiary institutions. Entrepreneurial skills refer to the practical abilities, competencies, and attitudes required for identifying business opportunities, innovating, taking risks, managing resources, solving problems, and creating sustainable ventures (Okoli & Nwosu, 2022). These skills include creativity, critical thinking, leadership, communication, financial management, marketing, innovation, and decision-making abilities. In Nigeria, the rising rate of unemployment, poverty, and economic instability has made entrepreneurship education an essential strategy for empowering youths and reducing dependence on white-collar jobs (Akinwale & Yusuf, 2024). Consequently, Business Education programmes in Colleges of Education are expected to equip students with entrepreneurial competencies that can enable them to become self-employed and economically productive after graduation.

The emergence of AI technologies presents significant opportunities for enhancing entrepreneurial skill development among Business Education students. AI tools such as ChatGPT, virtual business simulators, automated accounting systems, digital marketing platforms, business analytics software, and intelligent learning applications can improve students' creativity, innovation, and business decision-making skills (Ogunleye & Adebisi, 2024). Through AI-powered platforms, students can access real-time business information, generate business ideas, analyze market trends, develop digital marketing strategies, and improve problem-solving capabilities. AI also promotes personalized and interactive learning experiences that encourage independent learning, collaboration, and practical engagement with entrepreneurial activities. As businesses increasingly adopt AI technologies for operations and management, students with AI-related competencies are likely to possess competitive advantages in the labour market and entrepreneurial ecosystem.

Globally, educational institutions are increasingly integrating AI technologies into entrepreneurship and business-related programmes to improve innovation and practical learning outcomes. Countries such as the United States, China, and the United Kingdom have adopted AI-driven educational systems that support digital entrepreneurship, business incubation, and technology-based innovation (World Economic Forum, 2024). In Africa, the gradual expansion of digital technologies and internet access has contributed to the growing adoption of AI in education and business activities. In Nigeria, institutions of higher learning are beginning to recognize the relevance of AI in teaching and entrepreneurial development, particularly in response to the demands of the Fourth Industrial Revolution and the digital economy agenda of the government (NITDA, 2024). These developments indicate that AI utilisation has the potential to transform Business Education by improving the entrepreneurial capacities of students and

preparing them for modern business environments.

Despite the enormous potentials of AI utilisation in entrepreneurial skill development, several challenges continue to hinder its effective adoption in Nigerian educational institutions. Studies have shown that many Colleges of Education in Nigeria face infrastructural deficiencies such as inadequate internet connectivity, poor electricity supply, insufficient digital facilities, and limited access to AI tools and software (Adebayo & Ojo, 2023). In addition, many students and educators lack adequate digital literacy and technical competence required for effective AI utilisation. The high cost of acquiring technological devices and software subscriptions further limits the accessibility of AI technologies among students. These challenges negatively affect the integration of AI into teaching and learning processes, thereby reducing opportunities for students to acquire practical entrepreneurial competencies needed in the digital economy.

Furthermore, concerns have been raised regarding the ethical and responsible use of AI technologies in education. Issues such as overdependence on AI-generated content, academic dishonesty, data privacy, misinformation, and limited human interaction have generated debates among scholars and educational stakeholders (UNESCO, 2023). While AI technologies offer numerous benefits, their utilisation must be properly guided to ensure that students develop genuine critical thinking, creativity, and problem-solving abilities rather than excessive dependence on automated systems. This highlights the need for educational institutions to establish appropriate policies, training programmes, and ethical guidelines that can support responsible AI integration in teaching and entrepreneurial development.

In Ogun State, Colleges of Education are expected to prepare Business Education students with relevant entrepreneurial and technological competencies necessary for economic self-reliance and national development. However, observations indicate that many students still face challenges in utilizing modern digital technologies effectively for entrepreneurial purposes. The increasing adoption of AI technologies in business operations and the growing demand for digitally skilled entrepreneurs make it necessary to investigate the extent to which AI utilisation influences entrepreneurial skill development among Business Education students. Understanding this relationship is important for identifying the opportunities and challenges associated with AI integration in Business Education programmes. Therefore, this study seeks to examine the influence of Artificial Intelligence utilisation on entrepreneurial skill development among Business Education students in Colleges of Education in Ogun State, Nigeria.

RESEARCH AND FINDINGS

The study adopted a descriptive survey research design. This design was considered appropriate because it enables the researcher to collect data from a large population in order to examine the influence of Artificial Intelligence utilisation on entrepreneurial skill development among Business Education students in Colleges of Education in Ogun State, Nigeria. The descriptive survey design also allows for the description of existing conditions, opinions, and relationships among variables without manipulating the study environment. The population of the study comprised all Business Education students in selected Colleges of Education in Ogun State, Nigeria. These students were selected because they are directly involved in entrepreneurship and business-related learning activities where Artificial Intelligence technologies can be utilized to enhance entrepreneurial competencies and practical business skills.

The sample size for the study consisted of one hundred and fifty (150) respondents drawn from selected Colleges of Education in Ogun State. The respondents were selected using simple random sampling technique to ensure equal opportunity for participation and adequate representation of the population. The selected students included both male and female Business Education students across different levels of study. A self-developed questionnaire titled “Artificial Intelligence Utilisation and Entrepreneurial Skill Development Questionnaire

(AIUESDQ)" was used as the instrument for data collection. The questionnaire was structured in a closed-ended format using a four-point Likert scale of Strongly Agree (SA), Agree (A), Disagree (D), and Strongly Disagree (SD).

Results are presented and discussed based on the research questions and hypotheses formulated for the study. A total of one hundred and fifty (150) questionnaires were administered to Business Education students in selected Colleges of Education in Ogun State, Nigeria, and all the questionnaires were properly completed and returned, representing a 100% response rate.

Research Question One: What is the influence of Artificial Intelligence utilisation on entrepreneurial skill development among Business Education students in Colleges of Education in Ogun State?

Table 4.1: Mean and Standard Deviation on the Influence of Artificial Intelligence Utilisation on Entrepreneurial Skill Development among Business Education Students

S/N	Item	SA (%)	A (%)	D (%)	SD (%)	Mean	SD
1	AI tools improve students' creativity and innovation skills	58 (38.7%)	46 (30.7%)	26 (17.3%)	20 (13.3%)	2.95	1.06
2	AI utilisation enhances business decision-making skills	54 (36.0%)	50 (33.3%)	24 (16.0%)	22 (14.7%)	2.91	1.08
3	AI technologies improve digital marketing skills among students	60 (40.0%)	44 (29.3%)	24 (16.0%)	22 (14.7%)	2.95	1.09
4	AI utilisation promotes problem-solving ability among students	52 (34.7%)	52 (34.7%)	24 (16.0%)	22 (14.7%)	2.87	1.07
5	AI tools support entrepreneurial learning and business planning	56 (37.3%)	48 (32.0%)	24 (16.0%)	22 (14.7%)	2.91	1.05
Grand Mean = 2.92 (High Influence)							

Table 4.1 presents the responses of Business Education students on the influence of Artificial Intelligence utilisation on entrepreneurial skill development. The result shows that all the items recorded mean scores above the criterion mean of 2.50, with mean values ranging from 2.87 to 2.95. The grand mean of 2.92 indicates that respondents generally agreed that Artificial Intelligence utilisation positively influences entrepreneurial skill development among Business Education students. The findings specifically revealed that AI technologies improve students' creativity and innovation skills (Mean = 2.95), enhance digital marketing skills (Mean = 2.95), and improve business decision-making abilities (Mean = 2.91). The respondents also agreed that AI utilisation promotes problem-solving skills and supports entrepreneurial learning and business planning. This implies that the use of AI technologies exposes students to modern entrepreneurial practices, enhances their practical business knowledge, and equips them with digital competencies required in today's business environment.

Research Question Two: What are the challenges associated with Artificial Intelligence utilisation among Business Education students in Colleges of Education in Ogun State?

Table 4.2: Mean and Standard Deviation on the Challenges Associated with Artificial Intelligence Utilisation among Business Education Students

S/N	Item	SA (%)	A (%)	D (%)	SD (%)	Mean	SD
6	Lack of adequate access to AI tools affects utilization	62 (41.3%)	44 (29.3%)	22 (14.7%)	22 (14.7%)	2.97	1.10
7	Poor internet connectivity hinders effective AI utilization	58 (38.7%)	48 (32.0%)	24 (16.0%)	20 (13.3%)	2.96	1.07
8	Students lack sufficient technical knowledge of AI tools	54 (36.0%)	50 (33.3%)	24 (16.0%)	22 (14.7%)	2.91	1.08
9	Unstable power supply affects the use of AI technologies	66 (44.0%)	42 (28.0%)	22 (14.7%)	20 (13.3%)	3.03	1.12
10	High cost of technological devices limits AI utilization	56 (37.3%)	48 (32.0%)	24 (16.0%)	22 (14.7%)	2.92	1.09
Grand Mean = 2.96 (High Challenges)							

Table 4.2 shows the responses of respondents on the challenges associated with Artificial Intelligence utilisation among Business Education students. The results indicate that all the items had mean scores above the criterion mean of 2.50, with values ranging from 2.91 to 3.03. The grand mean of 2.96 indicates that respondents strongly agreed that several challenges hinder effective utilisation of AI technologies among Business Education students. The most significant challenge identified was unstable power supply (Mean = 3.03), followed by lack of adequate access to AI tools (Mean = 2.97) and poor internet connectivity (Mean = 2.96). Respondents also agreed that insufficient technical knowledge and the high cost of technological devices affect effective AI utilisation. This implies that infrastructural deficiencies and limited technological resources remain major barriers to the integration and effective use of AI technologies for entrepreneurial learning in Colleges of Education in Ogun State.

Research Hypotheses H_{01}: There is no significant relationship between Artificial Intelligence utilisation and entrepreneurial skill development among Business Education students in Colleges of Education in Ogun State.

Table 4.3: Pearson Product Moment Correlation (PPMC) Analysis on Artificial Intelligence Utilisation and Entrepreneurial Skill Development

Variables	N	Mean	SD	r-value	p-value	Decision
Artificial Intelligence Utilisation	150	2.92	1.07	0.74	0.003	Reject H_{01}
Entrepreneurial Skill Development	150	2.89	1.05			

Table 4.3 presents the Pearson Product Moment Correlation analysis on the relationship between Artificial Intelligence utilisation and entrepreneurial skill development among Business Education students in Colleges of Education in Ogun State. The result revealed an r-value of 0.74 and a p-value of 0.003, which is less than the 0.05 level of significance. Since the p-value is less than 0.05, the null hypothesis (H_{01}) is rejected. This indicates that there is a statistically significant positive relationship between Artificial Intelligence utilisation and entrepreneurial skill development among Business Education students. The positive correlation coefficient further indicates that increased utilisation of AI technologies leads to improved entrepreneurial competencies among students. The implication of this finding is that students who effectively utilize AI technologies are more likely to develop important entrepreneurial skills such as

creativity, innovation, digital marketing competence, business planning ability, and problem-solving skills. AI technologies therefore serve as important tools for enhancing entrepreneurial learning and preparing students for participation in the modern digital economy.

H_{02}: There is no significant relationship between the challenges associated with Artificial Intelligence utilisation and entrepreneurial skill development among Business Education students in Colleges of Education in Ogun State.

Table 4.4: Pearson Product Moment Correlation (PPMC) Analysis on Challenges Associated with Artificial Intelligence Utilisation and Entrepreneurial Skill Development

Variables	N	Mean	SD	r-value	p-value	Decision
Challenges of Artificial Intelligence Utilisation	150	2.96	1.09	-0.68	0.001	Reject H_{02}
Entrepreneurial Skill Development	150	2.89	1.05			

Table 4.4 shows the Pearson Product Moment Correlation analysis on the relationship between the challenges associated with Artificial Intelligence utilisation and entrepreneurial skill development among Business Education students. The result revealed an r-value of -0.68 and a p-value of 0.001, which is less than the 0.05 level of significance. Based on the result, the null hypothesis (H_{02}) is rejected because the p-value is less than 0.05. This indicates that there is a statistically significant negative relationship between the challenges associated with Artificial Intelligence utilisation and entrepreneurial skill development among Business Education students in Colleges of Education in Ogun State. The negative correlation coefficient implies that the more the challenges of AI utilisation increase, the lower the level of entrepreneurial skill development among students. Infrastructural challenges such as unstable electricity supply, poor internet connectivity, inadequate access to AI tools, and insufficient technical knowledge significantly reduce students' opportunities to effectively utilize AI technologies for entrepreneurial learning and practical skill acquisition.

Discussion of Findings

Research Question One revealed that Artificial Intelligence utilisation has a significant positive influence on entrepreneurial skill development among Business Education students in Colleges of Education in Ogun State. The grand mean score of 2.92 indicates a high level of agreement among respondents that AI technologies improve creativity, innovation, digital marketing skills, business planning ability, and problem-solving competence. This finding suggests that AI technologies provide students with opportunities to acquire relevant entrepreneurial knowledge and practical digital skills necessary for success in modern business environments. This finding is consistent with the study of Adekunle and Ibrahim (2023), who reported that AI-based learning platforms enhance entrepreneurial orientation and innovative thinking among tertiary institution students. Similarly, Ogunyemi (2024) found that the integration of AI technologies into business education improves students' analytical thinking, business decision-making, and digital entrepreneurial competencies.

Research Question Two showed that several challenges hinder the effective utilisation of Artificial Intelligence among Business Education students. The grand mean score of 2.96 indicates that respondents strongly agreed that unstable power supply, inadequate access to AI tools, poor internet connectivity, insufficient technical knowledge, and high cost of technological devices constitute major barriers to effective AI utilisation. This finding aligns with the study of Adebayo and Ojo (2023), who observed that inadequate technological infrastructure and poor internet facilities negatively affect the integration of digital technologies in Nigerian higher institutions. In the same vein, Yusuf and Bello (2024) emphasized that insufficient technical competence and limited access to digital resources reduce students' ability to effectively utilize

emerging technologies for learning and entrepreneurial activities.

The rejection of Hypothesis One revealed a strong positive relationship between Artificial Intelligence utilisation and entrepreneurial skill development among Business Education students. This implies that effective utilisation of AI technologies contributes significantly to the acquisition of entrepreneurial competencies and practical business skills. This finding corroborates the work of Okafor (2024), who found that AI-supported instructional systems improve entrepreneurial creativity and digital business competence among students.

Furthermore, the rejection of Hypothesis Two established a significant negative relationship between the challenges associated with Artificial Intelligence utilisation and entrepreneurial skill development. This implies that the presence of infrastructural and technical challenges limits students' ability to maximize the benefits of AI technologies for entrepreneurial learning. This finding supports the position of Hassan and Adeyemi (2023), who concluded that inadequate digital infrastructure and unstable power supply negatively affect technology-driven learning outcomes in Nigerian tertiary institutions.

CONCLUSION

Based on the findings of this study, it is concluded that Artificial Intelligence utilisation plays a significant role in enhancing entrepreneurial skill development among Business Education students in Colleges of Education in Ogun State, Nigeria. The study revealed that AI technologies positively influence students' creativity, innovation, problem-solving ability, digital marketing skills, and business decision-making competencies. This indicates that AI utilisation contributes meaningfully to the acquisition of entrepreneurial skills required for self-reliance and success in the contemporary digital economy. However, the study also established that several challenges hinder the effective utilisation of Artificial Intelligence technologies among students. These challenges include inadequate access to AI tools, poor internet connectivity, unstable electricity supply, insufficient technical knowledge, and the high cost of technological devices. These barriers limit students' ability to effectively utilize AI technologies for entrepreneurial learning and practical business development.

Furthermore, the findings confirmed that there is a significant positive relationship between Artificial Intelligence utilisation and entrepreneurial skill development, while the challenges associated with AI utilisation have a significant negative relationship with entrepreneurial competencies. Therefore, Artificial Intelligence utilisation is essential for improving entrepreneurial capacities among Business Education students. Effective provision, accessibility, and proper integration of AI technologies into Business Education programmes will significantly enhance entrepreneurial development, digital competence, and economic empowerment among students in Ogun State and Nigeria at large.

Based on the findings and conclusion of the study, the following recommendations are made:

- Government and educational stakeholders should provide adequate digital infrastructure, including computers, internet facilities, AI software, and smart learning devices in Colleges of Education to enhance effective utilisation of Artificial Intelligence technologies.
- Regular workshops, seminars, and training programmes should be organized continuously for Business Education students and lecturers to improve their digital literacy skills and competence in the use of Artificial Intelligence tools for entrepreneurial activities.
- College management should integrate Artificial Intelligence education into the Business Education curriculum to equip students with practical entrepreneurial and technological competencies required in the digital economy.

- Government and school authorities should provide stable electricity supply and affordable internet services within educational institutions to support uninterrupted utilisation of AI technologies.
- Institutions should collaborate with technology companies, private organizations and non-governmental organizations to provide students with access to modern AI tools, software applications, and entrepreneurial development programmes.
- Students should be encouraged to utilize AI technologies responsibly and ethically for business innovation, research and entrepreneurial learning purposes.
- Continuous monitoring and evaluation should be carried out by educational stakeholders to assess the effectiveness of Artificial Intelligence utilisation in improving entrepreneurial skill development among Business Education students.

REFERENCES

Adebayo, M. O., & Ojo, A. O. (2023). Technological infrastructure and challenges of digital learning integration in Nigerian higher institutions. *International Journal of Educational Development Studies*, 15(3), 67–81.

Adekunle, A. O., & Ibrahim, R. T. (2023). Artificial intelligence-based learning platforms and entrepreneurial orientation among tertiary institution students in Nigeria. *Journal of Educational Innovation and Digital Learning*, 13(2), 44–59.

Adeyemo, S. T., & Olaniyi, F. O. (2023). Digital transformation and emerging technologies in education: Implications for skill acquisition in Nigeria. *African Journal of Contemporary Education*, 9(1), 33–47.

Akinwale, R. O., & Yusuf, K. T. (2024). Entrepreneurship education and youth empowerment in Nigeria: A pathway to sustainable development. *Journal of Business and Vocational Education*, 18(1), 21–39.

Federal Republic of Nigeria. (2013). *National policy on education* (6th ed.). NERDC Press.

Hassan, L. K., & Adeyemi, S. T. (2023). Digital infrastructure and its influence on technology-driven learning outcomes in Nigerian tertiary institutions. *African Journal of Educational Technology*, 10(2), 92–108.

Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2023). *Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning*. Center for Curriculum Redesign.

NITDA. (2024). *National digital economy policy and strategy implementation report*. National Information Technology Development Agency.

Ogunleye, T. A., & Adebisi, R. O. (2024). Artificial intelligence tools and entrepreneurial skill acquisition in higher education. *Journal of Business Education and Technology*, 10(1), 55–70.

Ogunyemi, A. O. (2024). Artificial intelligence integration and enhancement of entrepreneurial skills in business education programmes. *Journal of Business and Vocational Education Research*, 12(1), 33–48.

Okafor, C. E. (2024). Artificial intelligence-supported learning systems and entrepreneurial development among students in Nigerian universities. *Journal of Digital Learning and Entrepreneurship*, 6(1), 14–28.

Okoli, C. N., & Nwosu, I. P. (2022). Entrepreneurial skills and competencies required for graduate employability in Nigeria. *Journal of Vocational and Technical Education*, 11(2), 50–63.

Russell, S., & Norvig, P. (2022). *Artificial intelligence: A modern approach* (4th ed.). Pearson.

UNESCO. (2023). *Guidance for generative AI in education and research*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.

UNESCO. (2024). *Artificial intelligence and education: Policy guidance for sustainable development*. UNESCO Publishing.

World Economic Forum. (2024). *The future of jobs report 2024*. World Economic Forum.

Yusuf, M. A., & Bello, S. T. (2024). Digital competence and access to emerging technologies among tertiary institution students in Nigeria. *African Journal of Educational Research and Development*, 11(2), 88–102.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

CLIMATE-RESILIENT REAL ESTATE: DEVELOPMENT OF A CLIMATE RISK INDEX FOR SUSTAINABLE PROPERTY INVESTMENT

Jamilu Shehu
Faculty of Environmental Technology, Department of Estate Management and Valuation, Abubakar Tafawa Balewa University, Bauchi, Bauchi state, Nigeria
Sani Inusa Milala
Faculty of Technology Management and Business, Department of Real Estate and Facilities Management, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, Johor Malaysia
Deborah Garba
Faculty of Environmental Technology, Department of Estate Management and Valuation, Abubakar Tafawa Balewa University, Bauchi, Bauchi state, Nigeria
Shuaibu H. Manga
Department of Estate Management Federal Polytechnic Mubi, Adamawa State, Nigeria

Abstract
Climate change is increasingly transforming real estate markets through rising temperatures, flooding, extreme weather events, water stress, and other environmental hazards that can threaten property values, investment performance, and long-term asset viability. Despite growing recognition of climate-related risks, conventional real estate valuation and investment decisions frequently provide limited consideration of physical climate risks and the resilience of properties and locations. There is therefore a need for an integrated framework that enables real estate stakeholders to systematically evaluate climate-related risks when making property investment and development decisions. This study aims to conceptualize a Climate-Resilient Real Estate Risk Index for assessing the exposure, vulnerability, and resilience of real estate assets to climate-related hazards. The study involves a review of existing literature on climate risk, sustainable real estate, property valuation, environmental resilience, green buildings, and responsible investment, followed by conceptualizations of the major dimensions and indicators required for developing the proposed index. The study has significant potential to contribute to real estate research by integrating climate resilience into property investment and valuation frameworks. The proposed index could also provide practical support for investors, valuers, developers, financial institutions, urban planners, and policymakers in identifying climate-vulnerable properties and improving long-term investment decisions. Furthermore, the framework could support sustainable development by encouraging climate-resilient construction, property management, and investment practices. The study concludes that incorporating climate-risk and resilience indicators into real estate decision-making can strengthen the sustainability, resilience, and long-term financial performance of property assets in increasingly climate-exposed urban environments.
Keywords: Climate risk; Real estate investment; Property valuation; Climate resilience; Sustainable real estate

1.0 Introduction
The global real estate sector stands at a critical juncture as the accelerating impacts of climate change increasingly reshape market dynamics and investment paradigms. Real estate provides housing, workplaces and critical economic infrastructure, and it stores household and

institutional wealth, yet it is a major physical and financial investment highly vulnerable to location-specific climate-related risks (Kader et al., 2024). These risks encompass both physical hazards, including floods, heatwaves, wildfires, and storms, as well as transition risks arising from regulatory changes, technological shifts, and evolving market preferences (Leutner, 2026). In 2022, property assets across 34 OECD countries were valued at approximately USD 111 trillion, equivalent to 196% of their combined GDP, highlighting the immense scale of value potentially exposed to climate-related disruptions (Voland, 2026).

The empirical evidence of climate impacts on real estate is mounting and increasingly difficult to ignore. Research indicates that climate disruption already costs the typical Real Estate Investment Trust (REIT) around 1.1% of annual revenue, with average losses reaching approximately 15% of revenue during extreme one-in-one-hundred-year events (Vasiliu, 2026). Across more than 45,000 properties held by 65 REITs in 61 countries, these financial impacts are not merely future projections but constitute a standing charge against revenue that most conventional valuation models still fail to capture (Vasiliu, 2026). The scale of economic losses from climate-related events globally ranges from USD 50 billion to 430 billion annually, underscoring the materiality of these risks to investment performance and financial stability (Nsama, 2025). Despite this growing recognition of climate-related risks, conventional real estate valuation and investment practices remain anchored in historical data and short-term comparable analysis. The fundamental challenge is that the climate is no longer behaving as historical records would predict; rainfall is heavier, heat is more persistent, and water stress is spreading into markets that never previously priced for it (Voland, 2026). When valuation inputs remain backward-looking, risk is systematically mispriced, and this mispricing compounds over the 20-to-30-year life of a real estate asset (Voland, 2026). This gap between actual risk exposure and conventional assessment practices creates significant vulnerabilities for investors, lenders, and property owners who may be inadequately prepared for accelerating climate hazards.

The need for a systematic framework to assess and integrate climate-related risks into real estate decision-making has therefore become increasingly urgent. As climate change accelerates, real estate developers and investors face mounting challenges in safeguarding investments and ensuring sustainable urban growth (Bapuuroh et al., 2025). Several initiatives have emerged in response to this imperative, including the Physical Climate Risk Appraisal Methodology (PCRAM) developed by the Coalition for Climate Resilience Investment, which provides systematic and replicable guidelines for integrating physical climate risks into investment decision-making across real estate and infrastructure sectors (Coalition for Climate Resilience Investment, 2024). Similarly, the Building Resilience Index has been introduced as a new global standard for assessing climate risks and identifying opportunities in the real estate market, enabling analysis of building and portfolio exposure to various natural and climatic threats (Bailey & Brush, 2020). However, a significant gap remains in translating these methodological advances into practical frameworks that can be readily applied by diverse stakeholders in the real estate industry. There is a clear need for an integrated and user-friendly index that enables investors, valuers, developers, financial institutions, urban planners, and policymakers to systematically evaluate climate-related risks when making property investment and development decisions. This study aims to address this gap by conceptualizing a Climate-Resilient Real Estate Risk Index for assessing the exposure, vulnerability, and resilience of real estate assets to climate-related hazards. The proposed index is designed to provide a comprehensive yet accessible tool for integrating climate risk assessment into mainstream real estate practice, thereby supporting more sustainable, resilient, and financially sound property investment decisions.

2.0 Literature Review

The literature on climate risk and real estate has expanded rapidly in recent years, reflecting growing awareness of the material impacts of climate change on property markets. This review synthesizes existing research across four thematic areas: the nature and measurement of climate-related risks in real estate, the capitalization of climate risks into property values, frameworks for climate risk assessment and resilience, and the integration of climate considerations into sustainable property investment.

2.1 Climate-Related Risks in Real Estate

Climate-related risks affecting the real estate sector can be broadly categorized into physical risks and transition risks. Physical risks arise from acute and chronic changes in climate conditions that compromise the physical integrity, usability, and value of property assets (Leutner, 2026). Acute physical risks include extreme weather events such as floods, hurricanes, heatwaves, and wildfires, while chronic risks encompass gradual changes such as sea-level rise, increasing average temperatures, and prolonged droughts (Martino, 2023). The impact of physical risks is primarily location-specific, depending on local geography, exposure, and vulnerability, with variations in topography, land use, and development patterns creating highly differentiated risk profiles across municipalities and regions (Anjanappa & Singh, 2026). Transition risks, conversely, stem from the economic and financial adjustments required as economies move toward a low-carbon, climate-resilient future. These include regulatory changes such as stricter building codes, energy efficiency requirements, and carbon pricing mechanisms; technological shifts in construction materials and building systems; and evolving market preferences that increasingly favor sustainable, climate-resilient properties (Yang et al., 2026). Properties that are poorly positioned to adapt to these transitions face the risk of becoming "stranded assets"—properties that suffer from premature devaluation due to climate-related factors (Anjanappa & Singh, 2025). Anjanappa and Singh (2025) explore this phenomenon in the Indian context, examining how climate risk contributes to stranded asset vulnerability in urban real estate markets, while Leutner (2026) addresses the implications of climate risks for investment and financing strategies in real estate markets.

The frequency and intensity of climate-related hazards are increasing, challenging assumptions that extreme events are once-in-a-lifetime occurrences. Siegel, president and CEO of Engel & Völkers Americas, observes that "devastating climate events are no longer dismissed as once-in-a-lifetime or once-in-50-year events" (Engel & Völkers, 2025). This changing risk landscape has profound implications for real estate investment, as properties that were previously considered low-risk may now face material exposure to climate hazards. Bapuuroh, Dinye, and Ayimaa (2025) assess climatic risks on commercial real estate in Ghana, highlighting how these risks affect property viability and investment decisions in developing market contexts. Kader et al. (2024) analyze real estate market responses towards climate-resilient policies in Malaysia and Indonesia, providing insights into how policy frameworks influence market behavior in emerging economies. The evidence collectively suggests that climate-related risks are becoming increasingly material to real estate markets across diverse geographic and economic contexts, necessitating systematic approaches to risk assessment and management.

2.2 Capitalization of Climate Risks into Property Values

A substantial body of empirical research has examined whether and how climate risks are reflected in property prices. Evidence from multiple markets indicates significant price discounts for properties exposed to flood hazards, heat stress, or sea-level rise (Leutner, 2026). These findings align with the characterization of house prices as potential "barometers" of climate risk, reflecting the extent to which risk information is capitalized into market values (Martino, 2023).

However, the efficiency of this capitalization process is contingent upon risk information being available and salient to market participants; incomplete disclosure and information frictions can lead to mispricing and delayed adjustment (Anjanappa & Singh, 2026). The evidence base on climate risk capitalization is both rapidly expanding and fragmented across hazards, geographies, asset classes, and empirical methods (Vasiliu, 2026). While some studies demonstrate that climate risks are negatively capitalized in housing prices, others find limited or no such effects, reflecting variations in data quality, analytical approaches, and local market conditions (Martino, 2023). This fragmentation highlights the need for systematic frameworks that can provide consistent and comparable risk assessments across different contexts.

Martino (2023) examines the influence of weather-related events on real estate and market response, contributing to understanding of how real estate markets react to climate hazards. Yang et al. (2026) investigates climate risk and real estate markets in the EU, emphasizing the role of institutional control through regulation in shaping market responses to climate risks. Vasiliu (2026) assesses the impact of climate-related risks on Canadian REITs, providing insights into how institutional investment vehicles are affected by and respond to climate hazards. Qin et al. (2025) present a machine learning framework for climate-resilient insurance and real estate decisions, demonstrating the potential of advanced analytical methods for improving climate risk assessment in property markets. The empirical evidence collectively indicates that climate risks are increasingly being priced into real estate markets, although the extent and timing of this capitalization varies considerably across contexts, underscoring the need for standardized assessment frameworks.

2.3 Frameworks for Climate Risk Assessment and Resilience

Recent years have witnessed the development of various frameworks and methodologies for assessing climate-related risks in real estate and investment contexts. The Physical Climate Risk Appraisal Methodology (PCRAM) represents a significant advancement in this domain, providing systematic, objective, and replicable guidelines for integrating physical climate risks into investment decision-making (Coalition for Climate Resilience Investment, 2024). PCRAM 2.0, the latest iteration, expands the methodology's application across various industries and includes specific guidance for real estate and infrastructure investment appraisal, incorporating feedback from practitioners and insights from new case studies (Coalition for Climate Resilience Investment, 2024). The methodology combines climate science, engineering, and finance to present a robust approach adaptable to individual investment contexts, supporting investors in identifying resilience investment opportunities according to financial materiality (Voland, 2026). Miola and Simonet (2014) and Miola et al. (2015) have contributed foundational work on concepts and metrics for climate change risk and development, including the development of a Climate Resilient Development Index with a theoretical framework and selection criteria for fit-for-purpose indicators. Their work provides important precedents for constructing indices that integrate climate risk and resilience considerations. The Global Investment Risk and Resilience Index, developed by Engel & Völkers Americas in partnership with Henley & Partners, measures countries' exposure to geopolitical, economic, and climate risks as well as their capacity to adapt and recover (Engel & Völkers, 2025). The index, based on 3,000 data points, provides investors, businesses, and individuals with rankings of the best countries for investment and wealth preservation, reflecting the growing importance of climate considerations in international investment decisions. Recent research has begun exploring the integration of climate risk into valuation frameworks. A study presented at the 2026 European Real Estate Society conference proposes an integrated framework positioning location quality, climate risk exposure, and building adaptability as interacting determinants of long-term property value (European Real

Estate Society, 2026). The research adopts a methodology to construct a Risk-Location Index and an Adaptability-Circularity Index, embedding them within a hedonic pricing framework to test whether building adaptability moderates climate-related depreciation (European Real Estate Society, 2026). Similarly, Ravelli (2024) presents a methodology for quantifying climate risk in the real estate sector, integrating ESG criteria into asset evaluation, drawing on data from the Copernicus Climate Change Service and structured in accordance with EU sustainability regulations.

2.4 Sustainable Real Estate and Climate-Resilient Investment

The integration of climate considerations into sustainable real estate investment has gained significant traction in recent years. Climate-resilient design focuses on the design of buildings, landscapes, communities, and regions to respond to natural disasters and the effects of climate change, such as rising sea levels, increasing heat waves, and regional droughts (Bailey & Brush, 2020). For real estate professionals, climate-resilient strategies ensure that capital continues to perform at a net positive rate even during catastrophic events (Voland, 2026). This focus on resilience is driven by recognition that failing to invest in climate-resilient designs and strategies can render properties obsolete and illiquid (Anjanappa & Singh, 2025). Institutional investors are increasingly prioritizing climate adaptation in their real estate investment decisions. Villalba Muñoz et al. (2026) investigate what drives institutional investors' climate adaptation decisions in commercial real estate, highlighting the growing importance of climate considerations in institutional investment strategies. Milala (2026) explores the mediation framework of ESG on the relationship between climate change and housing affordability investment, contributing to understanding of how ESG factors mediate climate-related risks in real estate investment.

The demand for climate-resilient properties is increasingly reflected in buyer and tenant preferences. Research indicates that climate risk considerations are becoming "almost as important as schools" in home buying decisions (Engel & Völkers, 2025). Buyers are increasingly asking about property features related to climate resilience, such as generator availability, window strength, and flood protection, while sellers are anticipating these questions by making improvements to their properties (Engel & Völkers, 2025). Properties that are resilient to climate impacts are more attractive to tenants and investors, achieving higher occupancy rates and potentially commanding premium values (Bailey & Brush, 2020). Regulatory frameworks are also driving the integration of climate considerations into real estate. Qader et al. (2024) analyze real estate market responses towards climate-resilient policies in Malaysia and Indonesia, providing insights into how policy frameworks influence market behavior in emerging economies. Nsama (2025) addresses the development of sustainable finance strategies for climate-resilient infrastructure investments across US states, highlighting the role of financing mechanisms in supporting climate adaptation.

2.5 Research Gap and Study Rationale

Despite the proliferation of research on climate risk and real estate, a significant gap remains in the development of practical, accessible frameworks that can be readily applied across diverse market contexts and stakeholder groups. While sophisticated methodologies such as PCRAM and various climate risk indices exist, their application often requires specialized expertise and data resources that may not be available to smaller investors, local valuers, or policymakers in developing economies (Bapuuroh et al., 2025). There is therefore a need for an integrated framework that simplifies the assessment of climate-related risks without sacrificing analytical rigor, enabling systematic evaluation of property exposure, vulnerability, and resilience. The conceptualization of a Climate-Resilient Real Estate Risk Index addresses this gap by providing a comprehensive yet accessible tool for mainstreaming climate risk assessment into real estate

decision-making. This study contributes to the growing body of research on climate-resilient real estate by synthesizing existing knowledge and proposing a practical framework for integrating climate considerations into property investment and valuation practice, thereby supporting more sustainable and resilient urban development.

3.0 Methodology

This study employs a conceptual research methodology focused on developing a theoretical framework for a Climate-Resilient Real Estate Risk Index. Conceptual research is appropriate for this study given the absence of a widely accepted, standardized index for assessing climate-related risks in real estate investment and valuation contexts (Miola et al., 2015). The methodology involves several phases: literature review and synthesis, identification and selection of index dimensions and indicators, and development of a composite index structure and aggregation methodology. The conceptualization process draws on established principles from climate risk assessment, index construction, and real estate valuation, integrating insights from diverse disciplinary perspectives to develop a comprehensive and practical framework.

3.1 Conceptualization of the Climate-Resilient Real Estate Risk Index

The proposed Climate-Resilient Real Estate Risk Index is conceptualized as a composite index that integrates three primary dimensions: exposure to climate hazards, vulnerability of the property and its occupants, and resilience capacity to withstand and recover from climate-related events. This three-dimensional structure builds upon established frameworks for climate risk assessment, including the IPCC risk framework which conceptualizes risk as a function of hazard, exposure, and vulnerability, while incorporating the additional dimension of resilience to capture adaptive capacity and response capabilities (Miola & Simonet, 2014). The conceptualization process draws on principles from existing climate risk indices, including the Climate Resilient Development Index developed by Miola et al. (2015), the Physical Climate Risk Appraisal Methodology developed by the Coalition for Climate Resilience Investment (2024), and the Risk-Location Index and Adaptability-Circularity Index proposed in recent real estate research (European Real Estate Society, 2026). The selection of indicators is guided by criteria of relevance to real estate decision-making, data availability, simplicity, and comprehensiveness, ensuring that the resulting index is both theoretically sound and practically applicable.

3.2 Dimensions and Indicators

The Climate-Resilient Real Estate Risk Index incorporates three primary dimensions with corresponding indicators designed to capture the full spectrum of climate-related risks affecting real estate assets. Dimension 1, Climate Hazard Exposure, assesses the extent to which a property is exposed to climate-related hazards, including flood risk as indicated by proximity to flood zones, historical flood frequency, and projected flood risk under climate change scenarios (Leutner, 2026). Heat stress is evaluated through exposure to extreme temperatures, urban heat island effects, and projected temperature increases (Martino, 2023). Extreme weather events are assessed through historical and projected frequency of storms, hurricanes, and severe wind events (Vasiliu, 2026). Water stress is measured through drought risk and water availability challenges (Nsama, 2025). Wildfire risk is assessed through proximity to wildfire-prone areas and historical fire frequency (Anjanappa & Singh, 2026). Sea-level rise is evaluated through coastal inundation risk and storm surge exposure for coastal properties (Voland, 2026).

Dimension 2, Property Vulnerability, evaluates the characteristics of the property that influence its susceptibility to climate hazards. Building age is considered, as older buildings are generally more vulnerable to climate impacts and may lack modern protective features (Leutner, 2026).

Building materials and design are assessed to determine the extent to which they provide protection against climate hazards (Bailey & Brush, 2020). Adaptability and circularity are evaluated through the capacity of the building to change its function or configuration without demolition, which provides flexibility in responding to changing conditions (European Real Estate Society, 2026). Energy efficiency is measured through building energy performance, which influences vulnerability to temperature extremes and regulatory transition risks (Yang et al., 2026). Location-specific vulnerability is assessed through topographic and site-specific factors that amplify or moderate climate hazard impacts (Martino, 2023).

Dimension 3, Resilience Capacity, assesses the capacity of the property, its owners, and the surrounding community to prepare for, respond to, and recover from climate-related events. Physical resilience features are evaluated through the presence of protective features such as flood barriers, hurricane-proof windows, backup power systems, and other adaptive measures (Bailey & Brush, 2020). Infrastructure resilience is assessed through the resilience of local infrastructure including power grids, water systems, and transportation networks (Voland, 2026). Community resilience is measured through community capacity to cope with and recover from climate events, including emergency services and recovery systems (Miola et al., 2015). Insurance availability and affordability are evaluated as they provide access to insurance coverage for climate-related risks, which provides financial protection and signals risk perception (Qin et al., 2025). Regulatory compliance is assessed through alignment with building codes, sustainability regulations, and climate adaptation requirements (Kader et al., 2024).

3.3 Index Structure and Scoring

The Climate-Resilient Real Estate Risk Index is structured to provide a comprehensive yet practical assessment of climate-related risks for real estate assets. Each indicator is scored on a scale from 0 to 10, with higher scores indicating lower risk and greater resilience (Miola et al., 2015). Indicator scores are weighted according to relevance to property type, location, and investment context, allowing for customization based on user priorities and risk tolerance (Coalition for Climate Resilience Investment, 2024). Dimension scores are calculated as weighted averages of constituent indicator scores, providing summary measures for each of the three primary dimensions. The overall Climate-Resilient Real Estate Risk Index score is calculated as a weighted average of the three-dimension scores, producing a single composite measure that can be used for comparison across properties, portfolios, or geographic areas. The weighting scheme is designed to be flexible, allowing users to adjust weights according to their specific priorities and risk tolerance, thereby accommodating diverse stakeholder perspectives and decision contexts (European Real Estate Society, 2026).

3.4 Data Sources and Application

The proposed index is designed to be operationalized using available data sources that are accessible to diverse stakeholders in the real estate industry. Climate hazard maps and projections from national meteorological agencies, research institutions, and international organizations provide the foundation for hazard exposure assessment (Miola & Simonet, 2014). Property characteristics are sourced from building registries, valuation records, and property management systems, providing information on building age, materials, design, and energy efficiency (Leutner, 2026). Infrastructure and community resilience data are obtained from local government planning documents and community resilience assessments, providing context for evaluating resilience capacity (Bailey & Brush, 2020). The index can be applied at various levels, including individual property assessment, portfolio evaluation, or geographic area analysis, supporting diverse applications from due diligence for individual property investments to strategic portfolio management and urban planning (Voland, 2026). The flexibility of the

framework supports integration with existing real estate valuation and investment practices, facilitating mainstream adoption of climate risk assessment in the real estate industry.

4.0 Findings

The literature review reveals a growing consensus that climate-related risks are material to real estate values and investment performance, yet existing frameworks for assessment and integration remain fragmented. Severe climate-related events can generate substantial financial losses, with global climate-related economic losses estimated at USD 50 billion to 430 billion annually (Nsama, 2025). The evidence that climate disruption already costs the typical REIT around 1.1% of annual revenue, with average losses reaching approximately 15% of revenue during extreme events (Vasiliu, 2026), underscores the urgency of systematic risk assessment. However, conventional valuation practices remain anchored in historical data and short-term comparisons, often failing to account for climate risks adequately (Leutner, 2026). This gap between actual risk exposure and assessment practice creates significant vulnerabilities for investors and property owners. The challenge is particularly acute given that the climate is no longer behaving according to historical patterns, rendering backward-looking models increasingly unreliable (Voland, 2026). The analysis identifies three primary dimensions that must be integrated into climate risk assessment for real estate: hazard exposure, property vulnerability, and resilience capacity, each of which encompasses multiple indicators that can be measured using available data sources.

FIGURE 1: CONCEPTUAL FRAMEWORK FOR CLIMATE-RESILIENT REAL ESTATE RISK INDEX

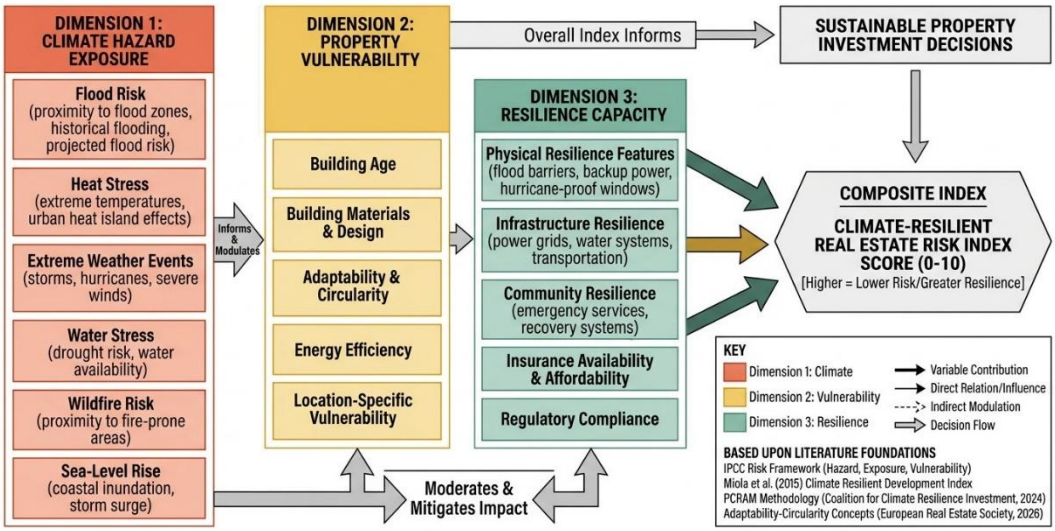


Figure 1: Conceptual Framework: Climate-Resilient Real Estate Risk Index

The review of existing frameworks reveals both strengths and limitations in current approaches to climate risk assessment in real estate. The Physical Climate Risk Appraisal Methodology (PCRAM) provides systematic and replicable guidelines for integrating physical climate risks into investment decision-making, but its application requires specialized expertise that may not be available to all stakeholders (Coalition for Climate Resilience Investment, 2024). The Climate Resilient Development Index offers a comprehensive framework for assessing climate risk and development, but its indicators are primarily designed for national-level analysis rather than property-level assessment (Miola et al., 2015). The Global Investment Risk and Resilience Index provides valuable comparative data across countries, but its focus on macroeconomic factors limits its utility for property-specific decision-making (Engel & Völkers, 2025). Recent research

on Risk-Location Indices and Adaptability-Circularity Indices demonstrates the potential for integrating climate risk into real estate valuation frameworks, but these approaches remain largely at the research stage (European Real Estate Society, 2026). These limitations highlight the need for a practical, accessible framework that can be applied at the property level while maintaining analytical rigor and comparability across contexts.

The conceptualization of the Climate-Resilient Real Estate Risk Index addresses these limitations by integrating insights from existing frameworks while simplifying application for diverse stakeholders. The three-dimensional structure encompassing hazard exposure, property vulnerability, and resilience capacity provides a comprehensive yet intuitive framework for assessing climate-related risks. The inclusion of resilience capacity as a distinct dimension is particularly significant, as it moves beyond traditional risk assessment to incorporate adaptive capacity and response capabilities, thereby supporting proactive risk management rather than reactive adaptation (Bailey & Brush, 2020). The proposed indicators are selected based on relevance to real estate decision-making, data availability, simplicity, and comprehensiveness, ensuring that the index can be operationalized using available data sources without requiring specialized expertise. The flexible weighting scheme allows users to customize the index according to their specific priorities and risk tolerance, accommodating diverse stakeholder perspectives and decision contexts (Villalba Muñoz et al., 2026).

The findings also highlight the growing importance of climate resilience in real estate investment and valuation practice. Institutional investors are increasingly prioritizing climate adaptation in their investment decisions, driven by recognition that climate risks are material to long-term investment performance (Villalba Muñoz et al., 2026). Buyer and tenant preferences are shifting toward climate-resilient properties, with climate risk considerations becoming increasingly important in property decisions (Engel & Völkers, 2025). Regulatory frameworks are evolving to require greater consideration of climate risks in real estate, with policies in Malaysia, Indonesia, and the EU driving market responses toward climate-resilient practices (Kader et al., 2024; Yang et al., 2026). These trends suggest that climate risk assessment will become increasingly integrated into mainstream real estate practice, reinforcing the need for accessible frameworks such as the Climate-Resilient Real Estate Risk Index.

5.0 Conclusion

This study set out to conceptualize a Climate-Resilient Real Estate Risk Index for assessing the exposure, vulnerability, and resilience of real estate assets to climate-related hazards. The study contributes to real estate research by integrating climate resilience into property investment and valuation frameworks, addressing the gap between growing recognition of climate risks and limited practical tools for systematic assessment. The proposed index provides a comprehensive yet accessible framework that can be applied across diverse market contexts and stakeholder groups, supporting more sustainable, resilient, and financially sound property investment decisions. The three-dimensional structure of the index encompassing hazard exposure, property vulnerability, and resilience capacity provides a theoretically grounded yet practical approach that draws on established climate risk frameworks while adapting them to the specific needs of real estate stakeholders.

The findings underscore the materiality of climate-related risks to real estate values and investment performance, with evidence indicating that climate disruption already imposes significant costs on property assets and that these costs are likely to increase as climate change accelerates. The fragmentation of existing assessment frameworks and the limited accessibility of sophisticated methodologies highlight the need for practical tools that can be readily applied

by diverse stakeholders. The proposed index addresses this need by simplifying climate risk assessment without sacrificing analytical rigor, enabling systematic evaluation that can inform investment decisions, valuation practice, and policy development. The practical implications of this study are significant. For investors, the index provides a tool for identifying climate-vulnerable properties and improving long-term investment decisions, supporting the integration of climate considerations into portfolio management and due diligence processes. For valuers, the index offers a framework for incorporating climate risk into property valuations, addressing the growing demand for climate-informed valuation practice. For developers, the index supports climate-resilient construction and property management practices, encouraging investment in adaptive features that enhance long-term asset value. For financial institutions, the index provides a basis for climate risk assessment in lending and investment decisions, supporting the development of climate-resilient financial products and services. For urban planners and policymakers, the index supports sustainable development by identifying climate-vulnerable areas and guiding investment in resilience infrastructure.

The study concludes that incorporating climate-risk and resilience indicators into real estate decision-making can strengthen the sustainability, resilience, and long-term financial performance of property assets in increasingly climate-exposed urban environments. The conceptual framework developed in this study provides a foundation for future research and practical application, but further work is needed to validate the index empirically and refine the indicators based on stakeholder feedback and empirical testing. Future research should focus on operationalizing the index through case studies and pilot applications, testing its utility and validity across diverse market contexts and property types. Additionally, research is needed to explore the integration of the index with existing real estate valuation and investment practices, examining how climate risk assessment can be mainstreamed into routine decision-making. The development of digital tools and platforms for applying the index could enhance its accessibility and adoption, supporting wider integration of climate considerations into real estate practice. Ultimately, the Climate-Resilient Real Estate Risk Index represents a contribution to the growing body of knowledge and practice on climate-resilient real estate, supporting the transition toward more sustainable, resilient, and financially sound property investment in an era of accelerating climate change

Reference

Anjanappa, J., & Singh, V. (2025). Stranded Assets or Smart Cities? Climate Risk, Finance, and Urban Real Estate in India. *Climate Risk, Finance, and Urban Real Estate in India (August 07, 2025)*.

Anjanappa, J., & Singh, V. (2025). Stranded Assets or Smart Cities? Climate Risk, Finance, and Urban Real Estate in India. *Climate Risk, Finance, and Urban Real Estate in India (August 07, 2025)*.

Anjanappa, J., & Singh, V. (2026). Climate risk and stranded asset vulnerability in India's urban real estate market. *Discover Cities*, *3*(1), 137.

Bailey, A., & Brush, L. (2020). The resilience factor: a competitive edge for climate-ready cities. *Center for Climate and Energy Solutions*.

Bapuuroh, R., Dinye, R. D., & Ayimaa, R. (2025). Assessing climatic risks on commercial real estate in ayeduase and kotei, Ghana: pathways to a sustainable future. *International Journal of Environment and Climate Change*, *15*(3), 408-423.

Kader, S. Z. S. A., Rabe, N. S., Yusoff, R. M., & Sufian, A. (2024). An analysis of real estate market responses towards climate resilient policies in Malaysia and Indonesia. *Environment-*

Behaviour Proceedings Journal, *9*(30), 13-19.
Leutner, S. (2026). *Climate Risks in Real Estate: Implications for Investment and Financing Strategies* (Doctoral dissertation).
Martino, A. (2023). *Climate risk and real estate: influence of weather-releated events on real estate and market response* (Doctoral dissertation, Politecnico di Torino).
Milala, S. I. (2026). Mediation Framework of ESG On Relationship Between Climate Change and Housing Affordability (Real Estate) Investment. *e-Jurnal Penyelidikan dan Inovasi*, *13*(1), 26-63.
Miola, A., & Simonet, C. (2014). *Concepts and metrics for climate change risk and development: towards an index for climate resilient development*. Publications Office.
Miola, A., Paccagnan, V., Papadimitriou, E., & Mandrici, A. (2015). Climate resilient development index: theoretical framework, selection criteria and fit-for-purpose indicators. *Report EUR*, *27126*.
Nsama, F. (2025). Development of sustainable finance strategies for climate-resilient infrastructure investments across US States. *Communication in Physical Sciences*, *12*(6), 1785-1813.
Qin, L., Xie, Y., Hua, D., & Meng, X. (2025). A Machine Learning Framework for Climate-Resilient Insurance and Real Estate Decisions. *arXiv preprint arXiv:2506.14638*.
Vasiliu, I. S. (2026). Assessing the impact of climate-related risks on Canadian real estate investment trusts: insights and implications for investors. *Sustainable Finance Review*, *1*(1), 45-66.
Villalba Muñoz, M. F., Schraven, D., Peeters, M., & Remøy, H. (2026). What drives institutional investors' climate adaptation decisions in commercial real estate?. *Journal of Property Investment & Finance*, 1-22.
Voland, N. (2026). *Transdisciplinary Systems-Thinking in Climate-Resilient Real Estate: The Yield Development Framework* (Doctoral dissertation, Concordia University).
Voland, N. (2026). *Transdisciplinary Systems-Thinking in Climate-Resilient Real Estate: The Yield Development Framework* (Doctoral dissertation, Concordia University).
Yang, Q., Xu, X., Imandojemu, K., Orole, F., & Osabohien, R. (2026). Climate Risk and Real Estate Markets in the EU: Institutional Control Through Regulation. *Business Strategy and the Environment*.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

DEVELOPMENT OF AN AI-DRIVEN SMART HOUSING AFFORDABILITY INDEX FOR SUSTAINABLE URBAN HOUSING MARKETS

Jamilu Shehu
Faculty of Environmental Technology, Department of Estate Management and Valuation, Abubakar Tafawa Balewa University, Bauchi, Bauchi state, Nigeria
Sani Inusa Milala
Faculty of Technology Management and Business, Department of Real Estate and Facilities Management, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, Johor Malaysia
Deborah Garba
Faculty of Environmental Technology, Department of Estate Management and Valuation, Abubakar Tafawa Balewa University, Bauchi, Bauchi state, Nigeria
Shuaibu H. Manga
Department of Estate Management Federal Polytechnic Mubi, Adamawa State, Nigeria

Abstract
Housing affordability has become a critical challenge in rapidly urbanizing cities, where rising property prices, rental costs, household expenditure, and stagnant incomes increasingly limit access to adequate housing. Traditional affordability measures often focus primarily on house-price-to-income ratios and may fail to capture the multidimensional economic, social, technological, and environmental factors influencing housing affordability. There is therefore a need for a more comprehensive approach capable of reflecting the changing dynamics of contemporary urban housing markets. This study aims to develop a conceptual AI-driven Smart Housing Affordability Index that integrates conventional affordability indicators with emerging socioeconomic, housing-market, and sustainability dimensions. The study involves a systematic review of existing literature on housing affordability, smart housing, artificial intelligence, sustainable urban development, and property-market indicators, followed by conceptualization of an integrated affordability framework. The proposed framework is expected to identify key dimensions and indicators that can support more accurate assessment and prediction of housing affordability across urban markets. The study has the potential to contribute theoretically by extending existing housing affordability models and methodologically by introducing an AI-oriented framework for multidimensional affordability assessment. Practically, the proposed index could assist governments, urban planners, housing developers, investors, and policymakers in identifying affordability gaps and designing evidence-based housing interventions. The study concludes that integrating artificial intelligence with multidimensional housing affordability assessment could provide a more dynamic and comprehensive mechanism for understanding urban housing accessibility and supporting sustainable housing policy.
Keywords: Housing affordability; Artificial intelligence; Smart housing; Housing market; Sustainable urban development

1.0 Introduction
Housing affordability has emerged as one of the most pressing urban challenges of the twenty-first century, affecting millions of households across both developed and developing economies. The rapid pace of urbanization, coupled with rising property prices, increasing rental costs, stagnant household incomes, and growing economic inequality, has progressively limited access to adequate and affordable housing in cities worldwide (Tabrizi et al., 2025). The United Nations Sustainable Development Goal 11 explicitly recognizes the importance of ensuring access to adequate, safe, and affordable housing and basic services for all, yet progress toward this goal

remains uneven and increasingly challenged by global economic pressures, climate change, and technological disruption (Youthao et al., 2026). The housing affordability crisis is particularly acute in rapidly urbanizing regions of Asia, Africa, and Latin America, where population growth, rural-to-urban migration, and inadequate housing supply have created substantial affordability gaps that threaten social stability and sustainable urban development (Sohaimi et al., 2025).

Traditional measures of housing affordability have predominantly relied on simple ratio-based indicators, most notably the house-price-to-income ratio and the rent-to-income ratio (Steinhoff, 2025). These conventional metrics provide a straightforward approach to assessing affordability by comparing housing costs to household income, offering a standardized basis for cross-market comparisons and policy evaluation. However, these traditional measures suffer from significant limitations that undermine their utility in contemporary urban contexts (Oyetunji et al., 2024). Price-to-income ratios fail to capture the multidimensional nature of housing affordability, neglecting critical factors such as housing quality, location accessibility, transportation costs, neighborhood amenities, energy efficiency, and the financial burden imposed by housing on other essential expenditures (Tabrizi et al., 2025). Furthermore, these static measures do not account for the dynamic nature of housing markets, where prices, incomes, and household circumstances change over time, often in unpredictable ways that traditional indicators cannot adequately capture.

The emergence of artificial intelligence and smart city technologies presents new opportunities for addressing the limitations of traditional housing affordability assessment. Artificial intelligence offers powerful capabilities for processing large and diverse datasets, identifying complex patterns and relationships, and generating predictive insights that can enhance understanding of housing market dynamics (Battapothu, 2023). AI-driven approaches can integrate multiple dimensions of affordability, including economic, social, environmental, and technological factors, into a comprehensive assessment framework that provides more accurate and nuanced understanding of housing affordability challenges (Al-Raeei, 2025). Machine learning algorithms can analyze vast amounts of housing market data, identify emerging trends, and predict future affordability trajectories, enabling more proactive and evidence-based policy responses (Wu & Kee, 2025). Moreover, AI can support the development of smart housing solutions that enhance affordability through improved construction efficiency, optimized resource allocation, and innovative housing delivery models (Ojha, 2025).

Despite the potential of AI to transform housing affordability assessment, there remains a significant gap between technological capabilities and practical application in housing policy and urban planning. Existing AI applications in real estate have primarily focused on price prediction and market analysis, with limited attention to the broader dimensions of housing affordability and sustainability (Trindade Neves et al., 2024). The development of a comprehensive AI-driven Smart Housing Affordability Index that integrates conventional affordability indicators with emerging socioeconomic, housing-market, and sustainability dimensions represents an important step toward bridging this gap. Such an index could provide a more holistic and dynamic mechanism for assessing housing affordability, supporting evidence-based policy interventions, and promoting sustainable urban development.

This study aims to develop a conceptual AI-driven Smart Housing Affordability Index that integrates conventional affordability indicators with emerging socioeconomic, housing-market, and sustainability dimensions. The study addresses the following research questions: What are the key dimensions and indicators that should be incorporated into a comprehensive housing affordability index? How can artificial intelligence enhance the assessment and prediction of housing affordability? What is the potential utility of an AI-driven Smart Housing Affordability Index for supporting sustainable housing policy and urban development? The proposed

framework is expected to identify key dimensions and indicators that can support more accurate assessment and prediction of housing affordability across urban markets. The study contributes theoretically by extending existing housing affordability models and methodologically by introducing an AI-oriented framework for multidimensional affordability assessment. Practically, the proposed index could assist governments, urban planners, housing developers, investors, and policymakers in identifying affordability gaps and designing evidence-based housing interventions.

2.0 Literature Review

The literature on housing affordability, artificial intelligence, and sustainable urban development has expanded significantly in recent years, reflecting growing recognition of the interconnected challenges facing contemporary housing markets. This review synthesizes existing research across four thematic areas: the conceptualization and measurement of housing affordability, the emergence of smart housing and AI applications in real estate, the integration of sustainability dimensions into housing affordability assessment, and the development of comprehensive affordability indices and frameworks.

2.1 Conceptualization and Measurement of Housing Affordability

Housing affordability is a multidimensional concept that encompasses the relationship between housing costs and household resources, the quality and adequacy of housing, and the broader economic and social context in which housing consumption occurs (Ahmadi Dehrashid & Mansourian, 2026). The most commonly used measures of housing affordability include the house-price-to-income ratio, which compares median house prices to median household incomes; the rent-to-income ratio, which assesses rental affordability; and the residual income approach, which evaluates the income remaining after housing costs for other essential expenditures (Steinhoff, 2025). These traditional measures, while providing useful benchmarks, have been criticized for their narrow focus on cost-to-income relationships at the expense of other important dimensions of affordability (Tabrizi et al., 2025).

The limitations of traditional affordability measures have prompted scholars to develop more comprehensive approaches that incorporate additional dimensions. Sohaimi et al. (2025) emphasize the importance of considering socioeconomic factors, including employment stability, access to credit, and social support networks, in assessing housing affordability. Kazim et al. (2026) highlight the role of housing quality and energy efficiency in determining the true cost of housing, noting that poor-quality housing can impose significant additional costs through higher energy bills, maintenance expenses, and health impacts. Youthao et al. (2026) argue that housing affordability must be understood within the broader context of sustainable urban development, recognizing the interdependence of housing, transportation, infrastructure, and environmental quality. These perspectives underscore the need for multidimensional assessment frameworks that capture the full complexity of housing affordability in contemporary urban contexts.

The spatial dimension of housing affordability is also critical, as affordability varies substantially across locations within cities, regions, and countries (Battapothu, 2023). Location affordability, which accounts for the combined costs of housing and transportation, has emerged as an important concept that recognizes the trade-offs households face between housing costs and accessibility to employment, services, and amenities (Oyetunji et al., 2024). The spatial distribution of affordable housing is shaped by land use patterns, transportation infrastructure, and urban planning policies, highlighting the need for integrated approaches that address housing affordability within the broader framework of sustainable urban development (Ahmadi Dehrashid & Mansourian, 2026).

2.2 Artificial Intelligence and Smart Housing

The application of artificial intelligence to housing and real estate has grown substantially, with AI technologies being deployed for price prediction, market analysis, property valuation, and housing delivery (Trindade Neves et al., 2024). Wu and Kee (2025) developed AdvancedNet, an AI-driven approach to housing price prediction in prefecture-level cities, demonstrating the capability of machine learning algorithms to analyze complex housing market data and generate accurate price forecasts. Li et al. (2025) examined AI-enhanced spatial value reassessment in the context of smart eco-city management, showing how AI can support understanding of housing price formation mechanisms in digitally transformed urban environments. These applications illustrate the potential of AI to enhance understanding of housing market dynamics and support evidence-based decision-making in real estate and urban planning.

AI technologies also offer significant potential for improving housing affordability through enhanced construction efficiency and innovative housing delivery models. Steinhoff (2025) examines the role of AI in enhancing construction efficiency in the European Union, demonstrating how AI can reduce construction costs, improve project management, and accelerate housing delivery. Tabrizi et al. (2025) explore the application of AI to sustainable and affordable housing, highlighting opportunities for AI to optimize building design, improve energy efficiency, and reduce lifecycle costs. Ojha (2025) presents a sustainable and data-driven approach to harnessing AI and digital innovations for affordable housing, showing how AI can support the entire housing delivery process from planning and design to construction and management.

The concept of smart housing has emerged as an integrated approach to housing that leverages AI and digital technologies to enhance affordability, sustainability, and quality of life (Sohaimi et al., 2025). Ahmadi Dehrashid and Mansourian (2026) present a multi-scale conceptual framework for smart housing that encompasses individual buildings, neighborhoods, and cities, highlighting the interconnected nature of smart housing solutions across different spatial scales. Youthao et al. (2026) propose an AI-driven framework for smart micro-housing and sustainable urban development, demonstrating how AI can support the development of compact, efficient, and affordable housing solutions that contribute to sustainable urban development goals. These contributions underscore the potential of AI to transform housing affordability assessment and intervention by providing more dynamic, comprehensive, and predictive capabilities.

2.3 Sustainability Dimensions of Housing Affordability

The integration of sustainability considerations into housing affordability assessment has gained increasing attention as the environmental impacts of housing become more apparent and urgent. Al-Raeei (2025) examines the role of AI in sustainable urbanization, emphasizing the importance of addressing environmental sustainability alongside economic and social dimensions of housing development. Battapothu (2023) discusses AI-driven big data decision systems for urban planning and smart city development, highlighting how AI can support sustainable urban development by optimizing resource use, reducing environmental impacts, and improving quality of life. These perspectives suggest that housing affordability cannot be understood in isolation from broader sustainability concerns, as housing costs, quality, and accessibility are intimately connected to environmental quality, resource availability, and climate resilience.

Energy efficiency represents a critical intersection of affordability and sustainability, as energy costs constitute a significant component of housing expenditure and energy-inefficient housing imposes additional financial burdens on households (Kazim et al., 2026). AI can contribute to energy-efficient housing through optimized building design, smart energy management, and predictive maintenance, reducing both environmental impacts and household costs (Tabrizi et al., 2025). Sohaimi et al. (2025) emphasize the socioeconomic sustainability of urban housing,

arguing that housing policies must address not only economic affordability but also social inclusion, community cohesion, and environmental quality. Oyetunji et al. (2024) highlight the potential of smart AI-enabled digital platforms to support end-to-end affordable housing delivery, integrating sustainability considerations throughout the housing development process.

The concept of sustainable housing affordability encompasses the long-term viability of housing solutions, recognizing that housing must remain affordable not only at the point of purchase or rental but throughout its lifecycle (Ahmadi Dehrashid & Mansourian, 2026). Lifecycle costing approaches consider the total cost of housing over time, including construction, operation, maintenance, and eventual disposal or renovation, providing a more complete picture of affordability than simple price-to-income ratios (Steinhoff, 2025). The integration of sustainability dimensions into housing affordability assessment requires consideration of environmental quality, resource efficiency, climate resilience, and social equity, all of which contribute to the long-term viability and affordability of housing (Youthao et al., 2026).

2.4 Comprehensive Housing Affordability Indices and Frameworks

The development of comprehensive housing affordability indices represents an important advancement beyond traditional ratio-based measures, integrating multiple dimensions and indicators into a single assessment framework. Several scholars have proposed multidimensional affordability indices that incorporate economic, social, spatial, and environmental factors (Tabrizi et al., 2025). These indices typically combine indicators of housing costs, household income, housing quality, neighborhood amenities, transportation costs, and accessibility into a composite measure that provides a more complete picture of housing affordability challenges (Sohaimi et al., 2025). The construction of composite indices requires careful consideration of indicator selection, weighting, and aggregation, as well as attention to data availability and quality (Oyetunji et al., 2024).

Recent research has begun to explore the integration of AI into comprehensive housing affordability assessment frameworks. Trindade Neves et al. (2024) examine the impacts of open data and explainable AI on real estate price predictions in smart cities, demonstrating how AI can enhance the accuracy and transparency of housing market analysis. Wu and Kee (2025) show how AI-driven approaches can improve housing price prediction by analyzing large and diverse datasets that would be impractical to process using traditional statistical methods. Saikhedkar and Mude (2026) present a conceptual framework for the AI-consumer-sustainability nexus in real estate transformation, illustrating how AI can integrate consumer preferences, sustainability considerations, and market dynamics into real estate decision-making. These contributions suggest that AI has the potential to significantly enhance housing affordability assessment by enabling more comprehensive data integration, more sophisticated analysis, and more accurate prediction.

Despite these advances, there remains a significant gap between the development of comprehensive affordability indices and their practical application in housing policy and urban planning. Many proposed frameworks remain conceptual, lacking empirical validation or practical implementation guidance (Ahmadi Dehrashid & Mansourian, 2026). The integration of AI into these frameworks is often proposed at a general level without specific attention to the technical, methodological, and institutional requirements for implementation (Al-Raeei, 2025). There is therefore a need for practical frameworks that bridge the gap between conceptual innovation and practical application, providing clear guidance for the development and implementation of AI-driven housing affordability assessment in real-world contexts.

2.5 Research Gap and Study Rationale

The literature review reveals a growing recognition of the multidimensional nature of housing affordability, the potential of AI to enhance affordability assessment, and the importance of

integrating sustainability dimensions into housing policy. However, significant gaps remain in the development of practical frameworks that integrate these elements into a comprehensive, accessible, and actionable assessment tool. First, while various multidimensional affordability indices have been proposed, few have incorporated AI capabilities for dynamic analysis and prediction. Second, the integration of sustainability dimensions into affordability assessment remains incomplete, with many frameworks focusing primarily on economic factors. Third, there is limited guidance on how AI-driven affordability indices can be implemented in practice, including the data requirements, methodological approaches, and institutional arrangements needed for effective application.

This study addresses these gaps by developing a conceptual AI-driven Smart Housing Affordability Index that integrates conventional affordability indicators with emerging socioeconomic, housing-market, and sustainability dimensions. The proposed framework is designed to be practical and accessible, providing clear guidance for implementation while maintaining analytical rigor and comprehensiveness. By integrating AI capabilities, the index is intended to provide more dynamic and predictive assessment than traditional static measures, supporting evidence-based policy interventions and sustainable urban development.

3.0 Methodology

This study employs a conceptual research methodology focused on developing a theoretical framework for an AI-driven Smart Housing Affordability Index. Conceptual research is appropriate for this study given the emerging nature of AI applications in housing affordability assessment and the absence of widely accepted frameworks for integrated AI-driven affordability measurement (Saikhedkar & Mude, 2026). The methodology involves several phases: systematic literature review and synthesis, identification and selection of index dimensions and indicators, development of the conceptual framework, and specification of AI integration approaches.

3.1 Conceptualization of the Smart Housing Affordability Index

The proposed Smart Housing Affordability Index is conceptualized as a comprehensive composite index that integrates six primary dimensions: economic affordability, housing quality and adequacy, location and accessibility, social and community factors, environmental sustainability, and market dynamics. This multidimensional structure builds upon established frameworks for housing affordability assessment while extending them to incorporate AI capabilities for dynamic analysis, pattern recognition, and predictive modeling. The conceptualization process draws on principles from existing affordability indices, smart housing frameworks, and AI applications in real estate, integrating insights from diverse disciplinary perspectives to develop a comprehensive and practical framework.

The Smart Housing Affordability Index is designed to provide a holistic assessment of housing affordability that goes beyond simple price-to-income ratios to capture the full range of factors that determine whether housing is truly affordable, adequate, and sustainable. The index is intended to be dynamic, incorporating real-time data and predictive analytics to reflect changing market conditions and emerging affordability challenges. The integration of AI capabilities enables the index to process large and diverse datasets, identify complex patterns and relationships, and generate predictive insights that can support proactive policy responses.

3.2 Dimensions and Indicators

The Smart Housing Affordability Index incorporates six primary dimensions with corresponding indicators designed to capture the full spectrum of factors influencing housing affordability in contemporary urban contexts.

Dimension 1: Economic Affordability assesses the fundamental economic relationship between housing costs and household resources. Indicators include house-price-to-income ratio,

rent-to-income ratio, mortgage repayment-to-income ratio, residual income after housing costs, and housing cost burden (percentage of income spent on housing). These indicators provide the foundation for affordability assessment, capturing the core economic dimension of housing affordability (Steinhoff, 2025; Sohaimi et al., 2025).

Dimension 2: Housing Quality and Adequacy evaluates the physical characteristics and condition of housing. Indicators include housing size (floor area per person), building age and condition, availability of basic services (water, sanitation, electricity), structural safety and resilience, and energy efficiency rating. This dimension recognizes that affordable housing must also be adequate housing, meeting minimum standards of quality, safety, and habitability (Kazim et al., 2026; Tabrizi et al., 2025).

Dimension 3: Location and Accessibility assesses the spatial dimensions of housing affordability. Indicators include accessibility to employment centers, proximity to public transportation, travel time to work, availability of essential services (schools, healthcare, retail), and neighborhood quality and amenities. This dimension captures the concept of location affordability, recognizing that transportation costs and accessibility significantly influence the true cost of housing (Battapothu, 2023; Oyetunji et al., 2024).

Dimension 4: Social and Community Factors addresses the social dimensions of housing affordability. Indicators include neighborhood safety and security, social inclusion and diversity, community cohesion and social capital, access to social services and support, and tenure security and housing rights. This dimension recognizes that housing affordability is not only an economic issue but also a social issue, affecting community wellbeing and social equity (Youthao et al., 2026; Ahmadi Dehrashid & Mansourian, 2026).

Dimension 5: Environmental Sustainability evaluates the environmental dimensions of housing affordability. Indicators include energy consumption and efficiency, water consumption and efficiency, waste management and recycling, green space and environmental quality, and climate resilience and adaptation. This dimension recognizes the interdependence of housing affordability and environmental sustainability, emphasizing the importance of resource-efficient, climate-resilient housing (Al-Raeei, 2025; Kazim et al., 2026).

Dimension 6: Market Dynamics captures the dynamic nature of housing markets and the factors that influence affordability trajectories. Indicators include housing supply and demand balance, construction costs and development activity, mortgage availability and interest rates, rental market conditions and vacancy rates, and price volatility and market stability. This dimension provides the basis for predictive analysis, enabling identification of emerging affordability challenges and opportunities (Wu & Kee, 2025; Trindade Neves et al., 2024).

3.3 AI Integration and Analytical Approaches

The integration of artificial intelligence into the Smart Housing Affordability Index provides enhanced analytical capabilities that go beyond traditional static assessment approaches. Machine learning algorithms can process large and diverse datasets, identifying complex patterns and relationships that may not be apparent through conventional statistical analysis (Wu & Kee, 2025). These algorithms can be trained on historical housing market data to predict future affordability trends, enabling proactive policy responses to emerging challenges. Natural language processing can analyze textual data from property listings, policy documents, and stakeholder consultations, extracting relevant information for affordability assessment.

Predictive analytics and forecasting capabilities enable the index to anticipate future affordability challenges and opportunities. Time series analysis can identify trends and cycles in housing markets, while scenario analysis can model the potential impacts of policy interventions, economic changes, or demographic shifts on housing affordability (Battapothu, 2023). These predictive capabilities support evidence-based policy development, enabling policymakers to

anticipate challenges and design interventions that address emerging affordability issues before they become entrenched.

Explainable AI approaches enhance the transparency and interpretability of AI-driven analysis, addressing concerns about the "black box" nature of some AI applications (Trindade Neves et al., 2024). Explainable AI techniques can identify which indicators and factors are most influential in determining affordability, supporting stakeholder understanding and policy development. Visualization tools can present complex analytical results in accessible formats, enabling diverse stakeholders to engage with the index and its findings (Ojha, 2025).

Real-time data integration enables the index to reflect current market conditions and emerging trends, providing timely information for decision-making. Data sources for the index can include official statistics (census data, housing surveys, administrative records), market data (property transactions, rental listings, construction activity), open data (government datasets, public information), and sensor data (smart city infrastructure, IoT devices) (Sohaimi et al., 2025). The integration of diverse data sources enhances the comprehensiveness and accuracy of affordability assessment, capturing factors that may be overlooked in traditional approaches.

3.4 Index Structure and Scoring

The Smart Housing Affordability Index is structured to provide a comprehensive yet practical assessment of housing affordability across urban markets. Each indicator is scored on a standardized scale, allowing for comparison across indicators and dimensions. Indicator scores are weighted according to relevance to affordability and data quality considerations, with flexible weighting options to accommodate different policy priorities and contexts. Dimension scores are calculated as weighted averages of constituent indicator scores, providing summary measures for each of the six primary dimensions. The overall Smart Housing Affordability Index score is calculated as a weighted average of the six-dimension scores, producing a single composite measure that can be used for comparison across cities, regions, or time periods.

The AI integration enables dynamic weighting and adaptive analysis, where the importance of different indicators and dimensions can be adjusted based on changing conditions and emerging priorities. Machine learning algorithms can identify which indicators are most predictive of affordability challenges, informing the weighting and aggregation approaches. The index can generate both overall affordability scores and dimension-specific scores, enabling detailed analysis of specific affordability challenges and targeted policy responses.

4.0 Findings

The literature review reveals that housing affordability is a multidimensional challenge that cannot be adequately captured by traditional price-to-income ratios alone. The six dimensions identified in this study economic affordability, housing quality and adequacy, location and accessibility, social and community factors, environmental sustainability, and market dynamics provide a comprehensive framework that captures the full complexity of housing affordability in contemporary urban contexts (Tabrizi et al., 2025; Sohaimi et al., 2025; Ahmadi Dehrashid & Mansourian, 2026). Each dimension contributes unique insights that are essential for understanding and addressing housing affordability challenges. Economic affordability captures the fundamental relationship between housing costs and household resources, but this dimension alone is insufficient for comprehensive assessment (Steinhoff, 2025). Housing quality and adequacy ensure that affordable housing meets minimum standards of habitability and safety, preventing the provision of substandard housing as a false solution to affordability challenges (Kazim et al., 2026).

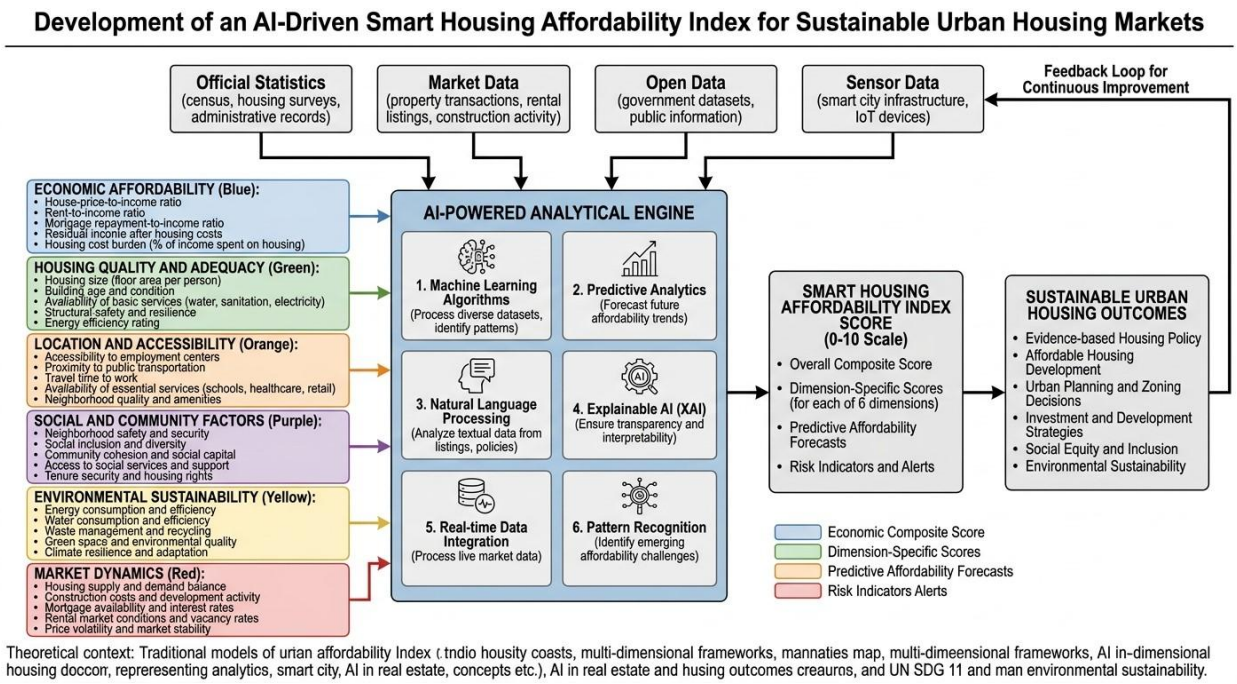


Figure 1: AI-Driven Smart Housing Affordability Index for Sustainable Urban Housing Markets

The review also demonstrates the significant potential of artificial intelligence to enhance housing affordability assessment through improved data integration, sophisticated analysis, and predictive capabilities. Machine learning algorithms can process large and diverse datasets, identifying complex patterns and relationships that may not be apparent through conventional statistical analysis (Wu & Kee, 2025). Predictive analytics and forecasting capabilities enable the index to anticipate future affordability challenges and opportunities, supporting proactive policy responses rather than reactive interventions (Battapothu, 2023). Explainable AI approaches enhance transparency and stakeholder engagement, addressing concerns about the interpretability of AI-driven analysis (Trindade Neves et al., 2024). These AI capabilities represent a significant advance over traditional static assessment approaches, providing more dynamic, comprehensive, and actionable information for housing policy and urban planning.

The integration of sustainability dimensions into housing affordability assessment reflects growing recognition of the interdependence of economic, social, and environmental factors in housing. Energy-efficient housing reduces household costs and environmental impacts, contributing to both affordability and sustainability (Kazim et al., 2026). Climate-resilient housing protects households from the impacts of climate change, which may otherwise impose significant additional costs and risks (Al-Raeei, 2025). Social inclusion and community cohesion contribute to the long-term viability and sustainability of housing, as socially integrated communities are more resilient and better able to address shared challenges (Youthao et al., 2026). The integration of these dimensions into a comprehensive affordability index supports more holistic policy approaches that address the multiple dimensions of housing affordability.

The conceptualization of the Smart Housing Affordability Index addresses key limitations of existing affordability assessment approaches. First, the multidimensional structure captures the full complexity of housing affordability, going beyond simple price-to-income ratios to incorporate quality, location, social, sustainability, and market dimensions (Sohaimi et al., 2025). Second, the AI integration enables dynamic and predictive analysis, providing more timely and

forward-looking information than static measures (Wu & Kee, 2025). Third, the framework is designed to be practical and accessible, providing clear guidance for implementation while maintaining analytical rigor (Oyetunji et al., 2024). These features enhance the utility of the index for diverse stakeholders, including governments, urban planners, housing developers, investors, and policymakers.

The findings also highlight the importance of data availability and quality for effective implementation of the Smart Housing Affordability Index. Comprehensive affordability assessment requires access to diverse data sources, including housing market data, household income data, housing quality data, transport and infrastructure data, and environmental data (Trindade Neves et al., 2024). Data availability varies significantly across different contexts, with cities in developed countries generally having better data infrastructure than those in developing countries (Sohaimi et al., 2025). This variation affects the feasibility and accuracy of the index across different contexts, highlighting the need for context-appropriate approaches that adapt to available data while maintaining analytical rigor.

5.0 Conclusion

This study set out to develop a conceptual AI-driven Smart Housing Affordability Index that integrates conventional affordability indicators with emerging socioeconomic, housing-market, and sustainability dimensions. The study addresses the limitations of traditional affordability measures by proposing a comprehensive multidimensional framework that captures the full complexity of housing affordability in contemporary urban contexts. The proposed framework encompasses six primary dimensions: economic affordability, housing quality and adequacy, location and accessibility, social and community factors, environmental sustainability, and market dynamics. Each dimension contributes essential insights that are necessary for understanding and addressing housing affordability challenges, moving beyond the narrow focus on price-to-income ratios that characterizes conventional approaches.

The integration of artificial intelligence into the proposed index provides significant analytical capabilities that enhance affordability assessment and policy development. Machine learning algorithms can process large and diverse datasets, identifying complex patterns and relationships that may not be apparent through conventional statistical analysis. Predictive analytics and forecasting capabilities enable the index to anticipate future affordability challenges and opportunities, supporting proactive policy responses rather than reactive interventions. Explainable AI approaches enhance transparency and stakeholder engagement, addressing concerns about the interpretability of AI-driven analysis. Real-time data integration enables the index to reflect current market conditions and emerging trends, providing timely information for decision-making. These AI capabilities represent a significant advance over traditional static assessment approaches, providing more dynamic, comprehensive, and actionable information for housing policy and urban planning.

The study contributes to theoretical understanding by extending existing housing affordability models to incorporate AI capabilities and sustainability dimensions, providing a more complete framework for conceptualizing housing affordability in the context of contemporary urban challenges. The methodological contribution lies in the development of a practical framework for AI-driven multidimensional affordability assessment, bridging the gap between conceptual innovation and practical application. The study also contributes to policy practice by providing a framework that can support evidence-based housing interventions, enabling governments, urban planners, housing developers, investors, and policymakers to identify affordability gaps and design appropriate responses.

The practical implications of this study are significant. For governments and policymakers, the

index provides a tool for identifying affordability gaps, monitoring trends, and evaluating policy interventions. For urban planners, the index supports integrated planning approaches that address housing affordability within the broader context of sustainable urban development. For housing developers and investors, the index provides market intelligence that can inform investment decisions and support the development of affordable housing solutions. For communities and households, the index contributes to transparency and accountability in housing policy, supporting advocacy for more affordable and sustainable housing.

The study concludes that integrating artificial intelligence with multidimensional housing affordability assessment can provide a more dynamic and comprehensive mechanism for understanding urban housing accessibility and supporting sustainable housing policy. The proposed Smart Housing Affordability Index represents a significant advance over traditional affordability measures, offering more comprehensive, dynamic, and actionable information for housing policy and urban planning. However, further research is needed to operationalize the index through empirical testing, refine the indicators based on stakeholder feedback and data availability, and develop practical guidance for implementation across diverse contexts. Future research should also explore the integration of the index with existing housing policy frameworks and assessment tools, examining how AI-driven affordability assessment can be mainstreamed into routine policy and planning practice. Ultimately, the Smart Housing Affordability Index contributes to the growing body of knowledge and practice on sustainable housing and urban development, supporting the transition toward more affordable, equitable, and sustainable cities.

Reference

Ahmadi Dehrashid, P., & Mansourian, H. (2026). Smart Housing: A Multi-scale Conceptual Framework. In *AI-IoT for Smart Urban Planning and Sustainable Development* (pp. 77-99). Springer, Singapore.

Al-Raeei, M. (2025). The smart future for sustainable development: Artificial intelligence solutions for sustainable urbanization. *Sustainable development*, *33*(1), 508-517.

B Tabrizi, T., Shooshtarian, S., & Ghafoor, S. (2025). Empowering sustainable and affordable housing through Artificial Intelligence.

Battapothu, V. (2023). AI-Driven Big Data Decision Systems for Urban Planning and Smart City Development. *International Journal of Computer Technology and Electronics Communication*, *6*(6), 8091-8112. Battapothu, V. (2023). AI-Driven Big Data Decision Systems for Urban Planning and Smart City Development. *International Journal of Computer Technology and Electronics Communication*, *6*(6), 8091-8112.

Kazim, M., Sohaib, M. A., Rehman, M. U., & Jaseem, M. (2026). AI-DRIVEN PASSIVE HOUSING DESIGN FOR ECONOMIC AND ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY IN EMERGING ECONOMIES: EVIDENCE FROM PAKISTAN. *Journal of Management Science Research Review*, *5*(2), 1023-1040.

Li, P., Yee, C. M., He, W., Lu, L., & Qin, K. (2025). AI-enhanced spatial value reassessment in digital transformation: impacts of smart eco-city management paradigms on housing price formation mechanisms. *Future Technology*, *4*(3), 239-250.

Ojha, D. (2025). Harnessing AI and Digital Innovations for Affordable Housing: A Sustainable and Data-Driven Approach. *Innovations*, *80*, 770-777.

Oyetunji, T. S., Erinjogunola, F. L., Ajirotutu, R. O., Adeyemi, A. B., Ohakawa, T. C., & ADIO, S. A. (2024). Development of a smart AI-enabled digital platform for end-to-end affordable housing delivery. *IRE Journals*, *7*(9), 494-499.

Oyetunji, T. S., Erinjogunola, F. L., Ajirotutu, R. O., Adeyemi, A. B., Ohakawa, T. C., & ADIO, S. A. (2024). Development of a smart AI-enabled digital platform for end-to-end affordable

housing delivery. *IRE Journals*, *7*(9), 494-499.
Saikhedkar, U., & Mude, G. (2026). The AI–consumer–sustainability nexus: a conceptual framework for real estate transformation. *International Journal of Housing Markets and Analysis*, 1-21.
Sharajsharifi, M. (2023). Artificial Intelligence in Sustainable Urban Housing and Infrastructure Planning: A Systematic Review of Emerging Approaches and Challenges. *Journal of Cyberspace Studies*, *7*(2), 321-343.
Sohaimi, N. S., Abd Razak, M. H., Said, M. S., Ibrahim, F. I., & Zıvalı, T. (2025). Smart technologies for socioeconomic sustainability in urban housing: A Southeast Asian perspective. *Journal of Contemporary Urban Affairs*, *9*(1), 270-288.
Steinhoff, B. (2025). Transformating Affordable Housing Â€“The Role Of Ai In Enhancing Construction Efficiency In The Eu. *Review of Economic and Business Studies*, (35), 193-220.
Tabrizi, T. B., Shooshtarian, S., & Ghafoor, S. (2025). Empowering Sustainable and Affordable Housing through Artificial Intelligence. In *International Conference of the Architectural Science Association* (pp. 413-422).
Trindade Neves, F., Aparicio, M., & de Castro Neto, M. (2024). The impacts of open data and eXplainable AI on real estate price predictions in smart cities. *Applied Sciences*, *14*(5), 2209.
Wu, F., & Kee, T. (2025). Smart urban forecasting: AdvancedNet's AI-driven approach to housing price prediction in prefecture-level cities. *Urban, Planning and Transport Research*, *13*(1), 2598533.
Wu, F., & Kee, T. (2025). Smart urban forecasting: AdvancedNet's AI-driven approach to housing price prediction in prefecture-level cities. *Urban, Planning and Transport Research*, *13*(1), 2598533.
Youthao, S., Channuwong, S., Weerachareonchai, P., Dhammahansakul, N., Sun, R., & Jia, Y. (2026). An AI-Driven framework for smart micro-housing and sustainable urban development (SDG 11). *Natural and Engineering Sciences*, *11*(2), 242-252.

FROM CHARGE SEPARATION TO PESTICIDE MINERALIZATION: CRITICAL ADVANCES IN NANOSCALE S-SCHEME HETEROJUNCTION PHOTOCATALYSTS

Usman Umaru
ALIMI Taofeek
Musa Bunu Ismaila
Department of Chemistry, Federal University of Education Kontagora, Niger State, Nigeria

Abstract
Pesticide residues remain difficult aquatic contaminants because removal of the parent molecule does not necessarily eliminate residual organic carbon, toxic transformation products, or heteroatom-containing by-products. Nanoscale S-scheme heterojunction photocatalysts have therefore attracted attention because they are designed to suppress unproductive electron-hole recombination while preserving photocarriers with strong reduction and oxidation potentials. This paper synthesizes recent advances through six interrelated themes: the mechanistic credibility of S-scheme charge transfer, nanoscale control of interfacial charge separation, translation of improved photophysics into mineralisation and detoxification, sources of cross-study performance variability, pesticide-specific reactive pathways, and the engineering requirements for scale-up. Recent pesticide-specific studies reveal a consistent trade-off. Systems reporting the fastest or apparently complete parent-pesticide disappearance do not always provide the strongest evidence for mineralisation, toxicity reduction, or S-scheme charge migration. Conversely, studies combining total organic carbon analysis, liquid chromatography-mass spectrometry, toxicity assessment, natural-water testing, in-situ XPS, Kelvin probe methods, femtosecond transient absorption spectroscopy, or theoretical calculations provide a more defensible link between interface physics and environmental remediation. The evidence indicates that photoluminescence quenching, electrochemical impedance, band-edge calculations, and scavenger tests are useful but insufficient as stand-alone proof of an S-scheme mechanism. Future progress should prioritize experimentally verified built-in electric fields, carbon and heteroatom balances, trace-level pesticide mixtures, catalyst leaching and recovery, solar photon efficiency, and continuous-flow operation. The decisive research transition is therefore from demonstrating rapid degradation to proving deep, safe, and engineering-relevant mineralization.
Keywords: S-scheme heterojunction; pesticide residues; photocatalysis; charge separation; reactive oxygen species; mineralization; detoxification

SEMANTIC CHANGE AND CULTURAL CONCEPTUALIZATION OF WORDS ADDED TO THE CAMBRIDGE ENGLISH DICTIONARY IN 2025.

Ejomarie Ewomazino Kezi
(B.A, UNIPORT, M.A, IAUE)

Abstract
This paper is a study on Semantic Changes and Cultural Conceptualization of Words Added to the Cambridge English Dictionary in 2025. The study adopted the Invited Inferencing Theory of Semantic Change (IITSC) proposed by Traugott and Dasher (2002), it explored how speakers employ words in that it motivates new interpretations, the listeners deduce these meanings, and interprets based on the deductions and through repetition and shared understanding, become conventionalized. The study adopted a qualitative research design using the descriptive method to provide a detailed account of semantic change and cultural conceptualization. The research population comprised 6,212 words added to the Cambridge English Dictionary in 2025, from which a purposive sample of 30 words were selected to reflect semantic changes and cultural concepts from Gen Z and Gen Alpha culture, online communities, gender debates and digital trends. Data were obtained from the Cambridge Dictionary for definitional categorization and from the NOW Corpus (News on the Web) for real-time usage contexts. The analysis proceeded at three levels: lexical-semantic analysis to identify the dominant types of semantic change; cultural conceptualization analysis to determine the social and cultural domains shaping meaning; and inferential theoretical interpretation to explain how pragmatic inference evolved into codified meaning through the IITSC framework. Findings indicate that metaphorical extension is the dominant pattern of semantic change, followed by broadening, pejoration, amelioration, and narrowing. The data show that nouns constitute the most frequent word class, reflecting the tendency to name new cultural concepts rather than modify existing ones. Cultural analysis revealed that most lexical innovations emerged from internet culture, social media, K-pop, gaming, fashion, influencer, and meme culture, highlighting the collective and participatory nature of meaning creation in online spaces. The study concludes that English, as represented in the 2025 Cambridge Dictionary, is inseparable from the cultural and technological environments that sustain it.

Keywords: *semantic changes, cultural conceptualization, Cambridge English dictionary*.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

ANTIDIABETIC, ANTIOXIDANT AND TISSUE PROTECTIVE EFFECTS OF ALUMINA, IRON-ALUMINA COMPOSITE AND SILICA-CHITOSAN HYBRID NANOPARTICLES IN ALLOXAN-INDUCED DIABETES IN RABBITS

Hadia Tabbasum
Department of Zoology, The Women University Multan, Multan, Pakistan
Orcid ID: 0009-0005-3647-1618
Shazia Perveen
Department of Zoology, The Women University Multan, Multan, Pakistan
Orcid ID: 0000-0002-2255-7665
Sumaira Kanwal
Department of Biosciences, COMSATS University Islamabad, Sahiwal Campus, Sahiwal, Pakistan
Orcid ID: 0000-0003-1988-0821

Abstract
Diabetes mellitus is defined as a chronic metabolic disorder causing hyperglycemia, oxidative stress and multiple organ complications. The objective of the present study was to investigate the antidiabetic, antioxidant and tissue protective effects of alumina nanoparticles, iron–alumina nanocomposite and silica–chitosan nanohybrid in alloxan induced diabetic rabbits. Alloxan was used to induce diabetes in one dose and experimental animals were grouped as a control, diabetic animals and animals treated with nanoparticles. Therapeutic efficacy was evaluated by biochemical, antioxidant and histopathological analyses. Significantly elevated blood glucose, ALT and AST, urea, creatinine, cholesterol, triglycerides, LDL and VLDL levels, decreased HDL, decreased serum amylase activity of the diabetic group were indicative of severe metabolic disturbances and organ damage. The activities of antioxidant enzymes such as catalase (CAT), superoxide dismutase (SOD), and glutathione peroxidase (GPx) were found to be significantly lowered and Malondialdehyde (MDA) level was significantly elevated, indicating oxidative stress. Histopathological studies showed significant degenerative changes in liver, kidney, pancreas and spleen tissues. Nanoparticles were significantly effective in restoring biochemical and antioxidant parameters as well as tissue architecture. Silica–chitosan nanohybrid was the most effective treatment in liver function, lipid profile, antioxidant status and pancreatic recovery, and iron–alumina nanocomposite was the most effective treatment in glucose-lowering and nephroprotective effect and alumina nanoparticles exhibited moderate effect among all treatments. Overall, the results demonstrate that nanoparticle based therapy is highly promising against alloxan induced diabetes with special reference to silica–chitosan and iron–alumina nanoparticles for antidiabetic, antioxidant, hepato-protective, nephroprotective and tissue regenerative effect. These nanoparticles could be potential therapeutic agents for diabetes and diabetic complications.

Key words: Alloxan monohydrate, Alumina nanoparticles, Antioxidant enzymes, Diabetes Mellitus, Histopathology, Iron-Alumina nanocomposite, Oxidative stress, Silica-Chitosan nanohybrid.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

CAN NEGATIVE CROSS-DIFFUSION TRIGGER INSTABILITY? PATTERN FORMATION IN TWO-SPECIES REACTION–DIFFUSION SYSTEMS

H. S. Ndakwo
K. H. Oduwole
M.A. Umar
Department of Mathematics, Nasarawa State University, Keffi, Nigeria

Abstract
Cross-diffusion has emerged as an important extension of classical reaction–diffusion theory for biological and chemical pattern formation. While most studies focus on positive cross-diffusion coefficients, the role of negative cross-diffusion remains less explored. In this paper, we investigate whether negative cross-diffusion can destabilize a spatially homogeneous steady state and generate diffusion-driven patterns. Using linear stability analysis, we derive conditions under which instability occurs when one of the cross-diffusion coefficients is negative. We demonstrate that negative cross-diffusion can enlarge admissible parameter spaces and induce stripe, spot, and mixed patterns that are impossible under standard diffusion assumptions. Numerical finite element simulations support the theoretical findings. The results reveal that negative cross-diffusion is not merely a mathematical curiosity, but a realistic mechanism capable of generating spatial self-organization.
Keywords: *Cross-diffusion, Negative diffusion coupling, Turing instability, Pattern formation, Finite elements.*

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

PARAMETER SPACE CHARACTERIZATION OF CROSS-DIFFUSION-INDUCED PATTERN FORMATION

H. S. Ndakwo
K. H. Oduwole
M.A. Umar
Department of Mathematics, Nasarawa State University, Keffi, Nigeria

Abstract
This paper presents a comprehensive characterization of the parameter space associated with diffusion-driven pattern formation in two-species reaction–diffusion systems with linear cross-diffusion. Conditions ensuring local stability of the homogeneous equilibrium and instability of heterogeneous modes are derived analytically. The admissible regions in the diffusion and reaction parameter planes are then classified into stable, oscillatory, and pattern-forming regimes. It is shown that cross-diffusion significantly enlarges the instability domain compared with classical self-diffusion systems. Numerical experiments reveal transitions among spots, stripes, and labyrinth structures as system parameters vary. The results provide a useful framework for parameter calibration in ecological, chemical, and biological transport models.
Keywords: *Parameter space, cross-diffusion, Turing instability, bifurcation, pattern selection.*

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

A COMPREHENSIVE NUMERICAL INVESTIGATION OF HYBRID QUASI-NEWTON CONJUGATE GRADIENT METHODS: THE SUPERIORITY OF SR1-DFP HYBRIDIZATION

A. Adams
Department of Mathematics, National Open University of Nigeria, Jabi, Federal Capital Territory, Abuja.
C.Y. Ishola
Department of Mathematics, National Open University of Nigeria, Jabi, Federal Capital Territory, Abuja.
U. Y. Abubakar
Department of Mathematics, Federal University of Technology, Minna, Niger State.
M. M. Maitala
Department of Mathematics, National Open University of Nigeria, Jabi, Federal Capital Territory, Abuja.
A. Rabiu
Department of Mathematics, National Open University of Nigeria, Jabi, Federal Capital Territory, Abuja.

Abstract
In this paper, we propose an extensive comparative analysis of various hybrid optimization algorithms that integrate conjugate gradient (CG) methods with quasi-Newton updates. We implement and test several hybrid algorithms, including combinations of a new CG coefficient with Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS), Symmetric-Rank-1 (SR1) and Davidon-Fletcher-Powell (DFP) methods, and a novel hybridization of SR1 and DFP (HSR1DFP). A rigorous numerical performance profile is constructed using the Rosenbrock test function across a wide range of problem dimensions to evaluate efficiency in terms of iteration count, function evaluations, and computational time. The results unequivocally show that the hybrid AMCGC-HSR1DFP algorithm outperforms not only the classical CG methods but also the other quasi-Newton hybrids, including the widely used BFGS. This study provides compelling empirical evidence that the hybridization of SR1 and DFP updates represents a particularly powerful and promising approach for large-scale unconstrained optimization, offering significant performance gains and recommending its consideration as a primary method for challenging problems.
Keywords:
Unconstrained Optimization, Conjugate Gradient Method, Hybrid Algorithm, Quasi-Newton Method, SR1 Update, DFP Update, Global Convergence, Rosenbrock Function.

1. INTRODUCTION

Optimization is a fundamental mathematical tool with profound applications across engineering, economics, logistics, and the sciences. The core objective is to find the minimum or maximum of a function, which often represents cost, profit, error, or energy. For large-scale unconstrained optimization problems, where the number of variables is significant, methods that do not require the storage of large matrices are particularly attractive. Among these, Conjugate Gradient (CG) methods have emerged as a cornerstone due to their simplicity, low memory footprint, and strong convergence properties (Hestenes & Stiefel, 1952; Fletcher & Reeves, 1964).

The performance of CG methods is heavily influenced by the choice of the conjugate gradient coefficient, β_k. Classical formulas like Fletcher-Reeves (FR), Polak-Ribière-Polyak (PRP), and Dai-Yuan (DY) each have distinct strengths and weaknesses. While methods like FR and DY

possess strong global convergence guarantees, they can suffer from slow convergence in practice (jamming). Conversely, methods like PRP and HS often demonstrate superior numerical performance but may lack guaranteed convergence for general non-convex functions (Gilbert & Nocedal, 1992).

To harness the strengths of different approaches, hybridization has become a prevalent strategy. This involves combining elements of different CG methods or integrating them with other optimization paradigms, such as quasi-Newton methods. Quasi-Newton methods, like the Symmetric-Rank-1 (SR1), Davidon-Fletcher-Powell (DFP), and Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno (BFGS) algorithms, build an approximation to the Hessian matrix, often leading to superlinear convergence. However, they typically require more storage, which can be prohibitive for very large-scale problems.

This research gap motivates the development of hybrid algorithms that marry the low-memory advantage of CG methods with the rapid convergence properties of quasi-Newton techniques. While several such hybrids have been proposed (e.g., Touati-Ahmed & Storey, 1990; Babaie-Kafaki, 2013b), a comprehensive comparative study of hybrids based on different quasi-Newton updates is lacking.

This paper makes a threefold contribution:

1. It proposes a new modified CG coefficient, β_k^{AMCGC} , designed to enhance performance.
2. It formulates a novel hybrid algorithm (AMCGC-HSR1DFP) that integrates the new CG coefficient with a combined SR1 and DFP quasi-Newton update.
3. It presents a detailed numerical investigation, comparing the proposed hybrids (AMCGC-SR1, AMCGC-DFP, AMCGC-BFGS, AMCGC-HSR1DFP) against classical CG methods and a prominent hybrid (FRPRP) on the Rosenbrock function across multiple dimensions. The results provide clear evidence of the superiority of the SR1-DFP hybridization.

2. A NEW CG COEFFICIENT AND THE SR1-DFP HYBRID ALGORITHM

2.1. NEW CG COEFFICIENT (β_k^{AMCGC})

The proposed research builds upon the work of Ibrahim and Rohanin (2020), who introduced a CG coefficient β_k^{IR}. To improve upon this, a new coefficient, β_k^{AMCGC}, is formulated. The modification involves scaling the inner product term in the numerator and replacing the denominator to ensure non-negativity and improve robustness.

The new coefficient is defined as:

$$\beta_k^{AMCGC} = \frac{\mu\|g_k\|^2 - \lambda\frac{\|g_k\|}{\|g_{k-1}\|}|g_k^T g_{k-1}|}{\|d_{k-1}\|^2}$$

where μ and λ are parameters, g_k is the gradient at iteration k, and d_k is the search direction. The parameters are chosen to satisfy $\mu \geq \frac{\lambda-\sigma}{1-\sigma} > 0$ and $\sigma < \lambda \leq 1$, with optimal values found empirically to be $\mu = 0.7$ and $\lambda = 1.0$.

This formulation is paired with a modified exact line search condition:

$$f(x_k + \alpha_k d_k) \leq f(x_k) + \mu\alpha_k(g_k^T d_k - \frac{1}{2}\alpha_k \eta L_k \|d_k\|^2)$$

where L_k is a normalization factor. This line search helps to enforce sufficient descent.

2.2. HYBRIDIZATION OF SR1 AND DFP (HSR1DFP)

The core innovation of this work is the hybridization of the SR1 and DFP quasi-Newton updates. The SR1 update is known for its good numerical performance but can suffer from numerical instability. The DFP update is a cornerstone of quasi-Newton methods but can exhibit the

"conditioning problem" where the Hessian approximation becomes singular. By combining them, the hybrid seeks to leverage the strengths of both while mitigating their weaknesses.
The derived hybrid update formula is:

$$B_{k+1}^{HSR1DFP} = 2B_k + \frac{(S_k - B_k\gamma_k)(S_k - B_k\gamma_k)^T}{(S_k - B_k\gamma_k)^T y_k} + \frac{S_k S_k^T}{S_k^T \gamma_k} - \frac{B_k \gamma_k \gamma_k^T B_k}{\gamma_k^T B_k \gamma_k}$$

where $s_k = x_{k+1} - x_k$ and $y_k = g_{k+1} - g_k$. This update is integrated into the CG framework using the β_k^{AMCGC} coefficient for the search direction.

2.3. THE AMCGC-HSR1DFP ALGORITHM

The complete hybrid algorithm is summarized as follows:

1. **Initialization:** Select an initial point x_0, parameters $\mu, \lambda, \varepsilon > 0$. Set $k = 0$, $B_0 = I$ (identity matrix).
2. **Stopping Criterion:** If $\|g_k\| < \varepsilon$, stop.
3. **Search Direction:** Compute d_k:

$$d_k = \begin{cases} -g_k ; & if \ \ k = 0 \\ -B_k g_k + \beta_k^{AMCGC} d_{k-1} ; & if \ \ k \geq 1. \end{cases}$$

4. **Line Search:** Find step size $\alpha_k > 0$ satisfying the modified line search condition.
5. **Update Iterate:** $x_{k+1} = x_k + \alpha_k d_k$.
6. **Update Hessian Approximation:** Compute s_k and y_k. Update B_k to B_{k+1} using the HSR1DFP formula.
7. **Increment:** Set $k = k + 1$ and go to Step 2.

Similar algorithmic structures were used to create the other hybrid methods (AMCGC-BFGS, AMCGC-DFP, AMCGC-SR1) for a fair comparison.

3. GLOBAL CONVERGENCE ANALYSIS

The global convergence of the proposed method with β_k^{AMCGC} is established under standard assumptions.

ASSUMPTION 1:

(i) The level set $\Omega = \{x \epsilon \mathbb{R}^n : f(x) \leq f(x_0)\}$ is bounded.

(ii) The function f is continuously differentiable in a neighborhood N of Ω, and its gradient is Lipschitz continuous

THEOREM 3.1 (SUFFICIENT DESCENT CONDITION):

The search direction d_k generated by the algorithm with β_k^{AMCGC} and the modified line search satisfies the sufficient descent condition:

$$g_k^T d_k \leq -c\|g_k\|^2 \quad \forall \ k \geq 0, \ \ c > 0.$$

The proof proceeds by induction, showing the condition holds for $k = 0$ and propagates to subsequent iterations, particularly under exact line search conditions where $g_{k+1}^T d_k = 0$.

THEOREM 3.2 (GLOBAL CONVERGENCE):

Suppose Assumption 1 holds and the algorithm generates sequences $\{x_k\}$ and $\{d_k\}$ where d_k satisfies the sufficient descent condition. Then, either the algorithm terminates finitely, or

$$\lim_{k \to \infty} inf \|g_k\| = 0.$$

The proof relies on the Zoutendijk condition (Zoutendijk, 1970), which states that under the given assumptions, $\sum_{k \geq 0} \frac{(g_k^T d_k)^2}{\|d_k\|^2} < \infty$. A contradiction argument shows that if the gradients do not converge to zero, this series would diverge, violating the Zoutendijk condition.

These theorems confirm that the proposed method is theoretically sound and possesses the necessary properties for global convergence to a stationary point.

4. NUMERICAL RESULTS

To evaluate the practical performance of the proposed algorithms, a comprehensive numerical study was conducted using the classic Rosenbrock banana function:

$$f(x_1, x_2) = (1 - x_1)^2 + 100(x_2 - x_1^2)^2$$

The problem was scaled to high dimensions (500, 1000, 5000, 10000, and 100000 variables) to test large-scale performance. The following metrics were recorded:

- **NI:** Number of Iterations
- **NF:** Number of Function Evaluations
- **CT:** CPU Time (in seconds)

The proposed hybrids (**AMCGC-SR1**, **AMCGC-DFP**, **AMCGC-BFGS**, **AMCGC-HSR1DFP**) were compared against the classical **FR**, **DY**, **PRP** methods, the **FRPRP** hybrid, and the base **IR** method.

Table 4.5: COMPARATIVE PERFORMANCE ON THE ROSENBROCK FUNCTION

Problem	*Dim.*	*AMCGC − SF*	*AMCGC − DF*	*AMCGC − BF(*	*AMCGC − HSR1D*	*IR*
		NI	*NF*	*CT*	*NI*	*NF*
Rosenbroc	500	55	57	1.22	55	57
	1000	53	55	1.37	54	55
	5000	49	52	2.45	51	52
	10000	40	41	3.35	39	40
	10000(	12	13	9.15	12	13

5. DISCUSSION OF RESULTS

The numerical results presented in Table 4.5 provide a clear and consistent performance hierarchy. The key findings are:

1. **Superiority of AMCGC-HSR1DFP:** The novel SR1-DFP hybrid algorithm (**AMCGC-HSR1DFP**) consistently outperforms all other methods across all problem dimensions and performance metrics (NI, NF, CT). For instance, for the 5000-variable problem, it requires only 32 iterations and 2.13 seconds, compared to 49-55 iterations and 2.07-3.53 seconds for the other AMCGC hybrids and benchmarks. This represents a performance improvement of over 30% in some cases.
2. **Performance of Other Hybrids:** The other quasi-Newton hybrids (**AMCGC-SR1**, **AMCGC-DFP**, **AMCGC-BFGS**) also demonstrate strong performance, generally outperforming the classical CG methods (**FR, DY, PRP**) and the **IR** method. This validates the strategy of augmenting CG methods with quasi-Newton updates.
3. **AMCGC-BFGS vs. AMCGC-HSR1DFP:** Notably, the proposed **AMCGC-HSR1DFP** outperforms the hybrid based on the widely-regarded BFGS update (**AMCGC-BFGS**). This is a significant result, suggesting that the specific combination of SR1 and DFP captures complementary properties that are more effective than the single, albeit robust, BFGS update in this hybrid CG context.
4. **Scalability:** The efficiency of all methods, particularly the hybrids, is maintained as the problem dimension scales up to 100,000 variables. The relative performance advantage

of **AMCGC-HSR1DFP** remains consistent, demonstrating its suitability for large-scale problems.

The superior performance of the SR1-DFP hybrid can be attributed to the synergistic combination of the SR1 update's ability to generate good Hessian approximations with often high accuracy and the DFP update's property of preserving positive definiteness, which leads to more stable and efficient search directions within the CG framework.

6. CONCLUSION

This study has presented a comprehensive numerical investigation into hybrid conjugate gradient algorithms. The development of a new CG coefficient, β_k^{AMCGC}, and its integration with various quasi-Newton methods has led to the creation of several efficient algorithms for large-scale unconstrained optimization.

The central conclusion is that the hybridization of the Symmetric-Rank-1 (SR1) and Davidon-Fletcher-Powell (DFP) methods, forming the **AMCGC-HSR1DFP** algorithm, yields a superior optimizer. Empirical evidence from extensive testing on the Rosenbrock function across multiple dimensions unequivocally demonstrates that this hybrid achieves the lowest number of iterations, the fewest function evaluations, and the shortest CPU time. It outperforms not only classical CG methods but also hybrids based on the individual SR1, DFP, and even the highly popular BFGS updates.

The theoretical analysis confirms that the proposed method satisfies the sufficient descent condition and is globally convergent under standard assumptions. Therefore, based on both its theoretical properties and its compelling numerical performance, the **AMCGC-HSR1DFP** algorithm is highly recommended for solving challenging large-scale unconstrained optimization problems. Future work will focus on testing this hybrid on a broader set of standard and real-world application problems and exploring its behavior under different line search conditions.

REFERENCES

- Adams, A., Abubakar, U.Y., Abubakar, U., & Yakubu, Y. (2022). Developments in Computational Optimization Techniques of Conjugate Gradient Coefficient, Search Direction, Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno, Symmetric-Rank One and Davidon-Fletcher-Powell Quasi-Newton Methods. *International Journal of Mathematics Analysis and Modelling* 5(4), 14 – 24.
- Al-Baali, M. (1985). Descent Property and Global Convergence of the Fletcher-Reeves Method with inexact Line Search. *IMA Journal of Numerical Analysis*, 5(1), 121–124.
- Babaie-Kafaki, S. (2013b). A Hybrid Conjugate Gradient Method Based on a Quadratic Relaxation of the Dai-Yuan Hybrid Conjugate Gradient Parameter. *Optimization*, 62(7), 929–941.
- Dai, Y.H., & Yuan, Y. (2001). An Efficient Hybrid Conjugate Gradient Method for Unconstrained Optimization. *Computational and Applied Mathematics*, 103(1-4), 33–47.
- Fletcher, R., & Reeves, C. M. (1964). Function minimization by conjugate gradients. *The Computer Journal*, 7(2), 149–154.
- Gilbert, J. C., & Nocedal, J. (1992). Global Convergence Properties of Conjugate Gradient Methods for Optimization. *SIAM Journal on Optimization*, 2(1), 21–42.
- Hestenes, M. R., & Stiefel, E. (1952). Methods of conjugate gradients for solving linear systems. *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, 49(6), 409–436.
- Ibrahim, A., & Rohanin, A. (2020). Convergence Analysis of a New Conjugate Gradient Method for Unconstrained Optimization. *Applied Mathematical Sciences*, 9(140), 6969–6984.

- Touati-Ahmed, D., & Storey, C. (1990). Efficient Hybrid Conjugate Gradient Techniques. *Journal of Optimization Theory and Applications*, 64(2), 379–397.
- Zoutendijk, G. (1970). Nonlinear Programming Computational Methods. In *Integer and Nonlinear Programming* (pp. 37–86). North-Holland.

A EUROPEAN PERSPECTIVE ON THE MANAGEMENT OF THE RETINOPATHY OF PREMATURITY: ALBANIAN DATA

Eglantina Bulica
Ophthalmologist, University of Medicine in Tirana, Albania
Admir Sinamati
Forensic Expert, University of Medicine in Tirana, Albania
Alketa Tandili
Ophthalmologist, University of Medicine in Tirana, Albania
Gentian Vyshka
Faculty of Medicine, University of Medicine in Tirana, Albania

ABSTRACT

Retinopathy of prematurity (ROP) is a retinal vasoproliferative disorder affecting preterm infants and remains a major cause of preventable childhood blindness worldwide. In Albania, the management of ROP is challenged by limited healthcare infrastructure, the absence of standardized national screening programs, and insufficient awareness among healthcare professionals and families.

Objectives

To examine the clinical, ethical, and deontological challenges associated with the diagnosis and management of ROP in Albania and to identify strategies for improving patient outcomes.

Methods

A narrative review and ethical-legal analysis of ROP management in Albania were conducted. Relevant scientific literature was reviewed, with particular emphasis on recent Albanian epidemiological and clinical studies addressing the incidence, screening, diagnosis, and management of ROP in neonatal intensive care units. International recommendations and guidelines from the American Academy of Pediatrics (AAP), the American Academy of Ophthalmology (AAO), and the World Health Organization (WHO) were also considered.

Results

The principal clinical challenges identified were delayed diagnosis, an insufficient number of trained pediatric ophthalmologists, limited access to appropriate diagnostic and therapeutic technologies, and inconsistent follow-up of at-risk infants. Ethical and deontological challenges included professional responsibility, transparency in communication with families, respect for patient dignity, effective interdisciplinary collaboration, and institutional accountability.

Conclusions

ROP management in Albania represents a multidimensional clinical, ethical, and institutional challenge that requires a coordinated and sustainable approach. The establishment of national ROP screening protocols, expansion of specialist training, improved and equitable access to diagnostic and therapeutic resources, and development of structured ethical and professional guidelines are essential to reduce preventable ROP-related blindness and improve outcomes for preterm infants.

NEGOTIATING MONOLINGUALISM AND MULTILINGUALISM IN THE AGE OF AI: CODE-SWITCHING IN HUMAN–CHATGPT INTERACTIONS

Ms. SELKA Meryem
Prof. KAID SLIMANE Hynd
Tlemcen University- Algeria Faculty of Foreign Languages
English Department

Abstract
Within multilingual speech communities, the use of more than one code in a single interaction is a completely predictable behavior. Human beings tend to fully use their linguistic resources in daily interactions. As artificial intelligence (AI) has become increasingly embedded in everyday communication, serving people for the smallest tasks, the question on whether such tools can handle code switching (CS) as naturally as humans do arises. The current study analyses human-AI interactions all containing instances of CS through a sociolinguistic lens. The intended goal, revealing whether AI tools such as ChatGPT are primarily monolingual tools, gravitating towards English as a dominant language or if they do accommodate to the use of CS when the users trigger a mixture of linguistic varieties in a conversation. Moreover, the research seeks to identify any noticeable patters used by the AI tool when it comes to CS. To achieve this end, a number of corpora featuring human-AI CS interactions were meticulously analyzed. The analyzed corpora included human-AI interactions involving prompts including switches between English, French and Arabic which were analyzed through a sociolinguistic framework. The results of the study show that ChatGPT switches to another code, attempting to match the patterns used by the human party of the interaction but only to a certain extent. The AI tool may preserve a monolingual approach by reducing the multilingual switches and offering translations. Code-switching therefore appears to occur primarily when it is explicitly triggered or sustained by the human interlocutor.
Key words: Artificial Intelligence, Code Switching, Chatgpt, Monolingualism, Multilingualism

GREEN CHEMISTRY FOR A SUSTAINABLE FUTURE: POLLUTION PREVENTION, RENEWABLE RESOURCES, AND HEALTHIER ENVIRONMENTS

MOHAMMED, U.M. (PhD)
SULEIMAN, F. (PhD)
Department of Chemistry, Faculty of Science, Federal University of Education, Kontagora, Nigeria
ORCID ID: 0009- 0004- 8948-8205

Abstract
Green chemistry has emerged as a transformative approach to addressing environmental and public health challenges associated with conventional chemical processes. It focuses on designing chemical products and processes that can reduce or eliminate the use and generation of hazardous substances while improving resource efficiency and sustainability. This can explores the role of green chemistry in advancing cleaner and healthier solutions across industries, including pharmaceuticals, agriculture, energy, manufacturing and waste management. The key strategies such as the use of renewable feed stocks, safer solvents, energy-efficient processes catalysis, waste prevention, biodegradable materials, and the development of less toxic chemical products will be examined. Green chemistry also can contribute to the principles of the circular economy by promoting resource recovery, recycling, and the efficient utilization of raw materials. The recent advances in biotechnology, nanotechnology, and artificial intelligence provide additional opportunities to design innovative environmentally responsible chemical processes. Despite its significant potentials, challenges such as high implementation costs, limited technological infrastructure, regulatory barriers, and the need for specialized skills remain a burden. Strengthening research, education, industry collaboration, and supportive environmental policies will be essential for wider adoption. Ultimately, green chemistry provides a proactive pathway for reducing pollution, conserving natural resources, protecting human health, and supporting sustainable economic development. Its continued advancement is therefore essential for creating cleaner, safer, and more sustainable future.
Keywords: Green chemistry, sustainability, pollution prevention, renewable resources, waste reduction, environmental protection, human health.

Introduction

The chemical industry has made major contributions to modern society through the manufacture of pharmaceuticals, agricultural chemicals, polymers, fuels, construction materials, food additives, and numerous consumer products. At the same time, many conventional chemical processes depend on hazardous raw materials, toxic solvents, high energy inputs, non-renewable feedstocks, and processes that generate substantial quantities of waste. These characteristics create environmental and occupational risks and have increased the need for approaches that provide useful chemical products while reducing adverse effects on people and ecosystems.

Green chemistry responds to this challenge by emphasizing pollution prevention at the source. The United States Environmental Protection Agency defines green chemistry as the design of chemical products and processes that reduce or eliminate the use or generation of hazardous substances throughout the life cycle of a chemical product (U.S. EPA, 2026). The approach is commonly expressed through twelve principles that address waste prevention, atom economy, safer synthesis and products, safer solvents, energy efficiency, renewable feedstocks, catalysis, degradation, real-time monitoring, and accident prevention (U.S. EPA, 2026).

The relevance of green chemistry has increased with growing concern about climate change, resource depletion, chemical pollution, biodiversity loss, and the expanding demand for

manufactured products. Contemporary approaches increasingly connect green chemistry with circular chemistry and safe-and-sustainable-by-design practices. These perspectives encourage environmental, health, resource, and economic considerations to be incorporated throughout the life cycle of chemical products and processes (Flerlage & Slootweg, 2023; Slootweg, 2024).

Conceptual Foundation of Green Chemistry

Green chemistry is fundamentally preventive. Its objective is not simply to manage or remediate pollution after it has occurred, but to redesign chemical systems so that hazardous substances, unnecessary waste, and avoidable resource consumption are reduced from the outset. This requires consideration of the materials, reaction pathways, energy requirements, products, by-products, and eventual fate of chemicals before a process is implemented.

The twelve principles provide a practical basis for translating this preventive philosophy into chemical practice. Taken together, they encourage efficient use of matter and energy, safer chemical design, reduced environmental persistence, and lower risk of accidents. Their application is most effective when decisions are considered across the entire life cycle of a product rather than at a single stage of production.

Principles of Green Chemistry

Prevention of Waste

Waste prevention is preferable to treatment or clean-up after waste has been produced. Conventional processes may generate unwanted by-products, wastewater, spent solvents, and solid residues in addition to the desired product. Green chemistry seeks to redesign such processes so that waste generation is minimized at source. Improved reaction selectivity, one-pot synthesis, continuous processing, catalysis, and efficient separation can contribute to this objective.

Atom Economy

Atom economy concerns the extent to which atoms in the starting materials are incorporated into the desired product. Reactions with high atom economy generate fewer unwanted by-products and therefore require fewer raw materials and less waste treatment. It may be expressed as: Atom economy (%) = (Molecular mass of desired product ÷ Total molecular mass of reactants) × 100.

Less Hazardous Chemical Syntheses

Chemical processes should use and generate substances with the lowest practicable levels of toxicity and hazard. Attention should be given to acute and chronic toxicity, carcinogenicity, corrosivity, persistence, reactivity, and effects on aquatic and terrestrial organisms. Where alternatives can provide equivalent performance, the safer option should be preferred.

Designing Safer Chemicals

The final chemical product should perform its intended function while presenting reduced risks to human health and the environment. This principle extends beyond the manufacturing process to the characteristics of the product itself. For example, an agricultural chemical should control its target pest effectively while minimizing effects on beneficial organisms, soil biota, aquatic systems, and people.

Safer Solvents and Reaction Conditions

Solvents are frequently used for dissolution, heat transfer, reaction control, and product separation, but some conventional solvents are toxic, volatile, flammable, or environmentally persistent. Green chemistry encourages solvent reduction, solvent-free processes where feasible, and the use of safer alternatives such as water or suitable alcohols. Temperature, pressure, and concentration should also be optimized to reduce hazards and resource requirements.

Energy Efficiency

Chemical processes can consume substantial energy for heating, cooling, pumping, separation, and purification. Green chemistry favors reactions conducted at lower temperatures and pressures

when technically feasible. More efficient reactors, microwave-assisted processes, improved heating systems, photocatalysis, and other approaches can reduce energy use, operating costs, and greenhouse-gas emissions.

Renewable Feedstocks

Renewable feedstocks, including agricultural crops, plant oils, starch, cellulose, biomass, and selected biological residues, can provide alternatives to petroleum and other fossil resources. However, renewable origin alone does not establish sustainability. Land requirements, water use, biodiversity, transportation, processing energy, and competition with food production must also be assessed.

Reduction of Unnecessary Derivatives

Protecting groups and other temporary chemical modifications can increase the number of reaction steps, reagent requirements, solvent use, energy demand, and waste generation. Green synthesis therefore seeks routes that avoid unnecessary derivatization whenever practicable.

Catalysis

Catalysts accelerate chemical reactions without being consumed in the overall reaction and can improve selectivity, reduce energy requirements, and decrease the amount of stoichiometric reagent required. Enzymes, heterogeneous catalysts, homogeneous catalysts, organocatalysts, photocatalysts, and electrocatalysts are among the systems used in green chemistry. Catalyst sustainability should also consider toxicity, availability, durability, recyclability, and dependence on scarce elements.

Design for Degradation

Chemical products should be designed to perform their intended function and subsequently break down into substances that pose minimal environmental risk. Assessment should include biodegradability, persistence, bioaccumulation, and the toxicity of degradation products. Rapid degradation is not sufficient if the products formed during degradation remain hazardous.

Real-Time Analysis for Pollution Prevention

Monitoring chemical processes while they are occurring allows deviations to be identified before they produce significant quantities of pollutants or hazardous waste. Measurements of temperature, pressure, concentration, pH, reaction progress, and by-product formation can support timely adjustment of process conditions and improve control.

Inherently Safer Chemistry for Accident Prevention

Chemical processes should be designed to reduce the likelihood and consequences of fires, explosions, leaks, and accidental releases. Factors such as flammability, explosiveness, toxicity, reactivity, operating conditions, storage requirements, and release potential should be considered during process design rather than addressed only through protective equipment and emergency measures.

The twelve principles are interrelated. A reaction with high atom economy may simultaneously reduce waste, solvent demand, energy consumption, and production costs, while an effective catalyst may improve selectivity and permit operation under milder conditions. Consequently, green chemistry is best understood as an integrated approach to chemical design rather than a collection of independent practices.

Major Strategies for Implementing Green Chemistry

Waste Prevention

Waste prevention is one of the most direct applications of green chemistry. Chemical waste may originate from excess reagents, low selectivity, side reactions, solvent use, repeated purification, and inefficient separation. Process redesign can address these sources before waste is generated. High atom economy, catalytic reactions, continuous processing, improved selectivity, and one-pot synthesis are practical strategies for reducing material losses.

Renewable Feedstocks

The replacement of fossil-based raw materials with renewable feedstocks is an important area of green chemistry. Biomass and agricultural residues can serve as sources of chemicals, fuels, and chemical intermediates. Ali *et al.* (2024) reviewed the scaling-up of biomass-derived organic-acid production, while Ding *et al*. (2024) examined catalytic routes for producing amino acids from biomass. Such developments demonstrate the potential of renewable resources, although their overall sustainability depends on land use, water demand, transport, processing energy, and interactions with food production.

Safer Solvents and Reaction Conditions

Solvent selection can strongly influence the environmental performance of chemical synthesis because solvents may account for a substantial proportion of the materials used in a process. Appropriate selection should consider toxicity, volatility, biodegradability, persistence, recovery requirements, and energy demand. Delolo *et al*. (2025) highlighted the importance of greener solvents, renewable feedstocks, milder conditions, and catalyst recovery in carbonylation processes. However, if it is technically feasible, eliminating the solvent or replacing hazardous solvents with safer alternatives should be considered at the design stage.

Energy-Efficient Processes

Reducing energy demand is important for both environmental performance and economic efficiency. Processes that require high temperatures and pressures can increase fuel consumption and greenhouse-gas emissions. Photocatalysis, electrocatalysis, microwave-assisted synthesis, improved reactor design, and catalytic processes conducted under mild conditions provide routes for lowering energy intensity. Yenare *et al*. (2025) identified advances in transition-metal catalysis, organocatalysis, photocatalysis, and electrocatalysis as important developments in sustainable chemical transformation.

Sustainable Catalysis

Catalysis occupies a central position in green chemistry because catalysts can improve reaction rates and selectivity while reducing energy requirements and reagent consumption. Current research includes heterogeneous, homogeneous, organo-, photo-, electro-, bio-, and hybrid catalytic systems. Sustainable catalyst development should extend beyond catalytic activity to include material abundance, toxicity, stability, recovery, recyclability, and the use of earth-abundant elements (Yenare *et al*., 2025).

Green Chemistry and the Circular Economy

The conventional chemical economy often follows a linear pattern of extraction, production, use, and disposal. Green chemistry supports a transition toward circular systems by reducing waste at source, improving resource efficiency, facilitating recovery, and designing products for reuse or recycling. Examples include recovery of valuable metals, recycling of chemical feedstocks, conversion of agricultural residues into useful products, chemical recycling of polymers, biodegradable materials, closed-loop manufacturing, and industrial symbiosis.

Green chemistry, circular chemistry, and safe-and-sustainable-by-design approaches are complementary rather than competing frameworks. Green chemistry seeks to prevent hazardous substances and waste from entering production systems, while circular approaches seek to retain materials and resources within productive cycles (Slootweg, 2024). Recycling, however, cannot compensate for a fundamentally hazardous product; prevention and safer design must therefore remain central considerations.

Caldeira *et al*. (2024), in a review of sustainability-assessment frameworks, reported substantial variation in the ways environmental, social, and economic dimensions are incorporated into chemical and material assessment. This variation reinforces the importance of life-cycle thinking when determining whether a chemical innovation provides a genuinely sustainable alternative.

Biotechnology and Green Chemistry

Biotechnology offers opportunities to produce chemicals under relatively mild conditions using enzymes, microorganisms, and renewable biological resources. Biocatalysis can provide high selectivity and reduce dependence on harsh reagents and severe reaction conditions. These characteristics support several principles of green chemistry, particularly catalysis, renewable feedstocks, energy efficiency, and waste prevention. Biorefineries provide an additional opportunity by converting biomass into several value-added products rather than treating biomass solely as waste.

Nanotechnology and Green Chemistry

Nanotechnology has applications in catalysis, environmental remediation, energy storage, and advanced materials. Nanostructured catalysts can provide large surface areas and enhanced catalytic activity, potentially improving reaction efficiency. Nevertheless, nanomaterials must themselves be evaluated against green chemistry and safe-by-design criteria. Their environmental and toxicological characteristics may depend on composition, particle size, surface chemistry, persistence, and environmental transformation. Life-cycle assessment and evaluation of environmental fate should therefore be incorporated into nanomaterial development (Apel *et al*., 2024; Sudheshwar *et al*., 2024).

Artificial Intelligence and Digital Technologies in Green Chemistry

Artificial intelligence, machine learning, and computational chemistry are increasingly being applied to reaction prediction, catalyst discovery, retrosynthetic planning, molecular design, process optimization, and prediction of chemical properties. These tools can accelerate the identification of reaction conditions and materials and may reduce experimental effort. Their contribution to green chemistry, however, should be assessed alongside their own resource requirements. Computational chemistry and data-intensive systems consume electricity and depend on substantial computing infrastructure. Consequently, digital tools should be developed and applied with attention to computational efficiency and the environmental cost of the technologies themselves.

Applications of Green Chemistry

Pharmaceutical Industry

Pharmaceutical manufacturing can benefit from greener synthetic routes, catalytic reactions, safer solvents, continuous processing, and reduced waste. Reducing the number of reaction steps and solvent consumption can improve material efficiency and decrease the environmental burden associated with pharmaceutical production.

Agriculture

Green chemistry can support agriculture through the development of safer pesticides, biodegradable agricultural chemicals, controlled-release formulations, and renewable agricultural inputs. Chemicals designed to be less persistent and less toxic can reduce risks to soil organisms, aquatic ecosystems, beneficial organisms, and human health.

Energy

Green chemistry contributes to batteries, fuel cells, solar-energy materials, hydrogen technologies, carbon capture and conversion, and renewable fuels. Catalysis and materials chemistry are particularly important in reducing the energy requirements of these technologies and improving their performance.

Manufacturing

Industrial manufacturing can improve its environmental performance through reduced solvent consumption, catalytic processes, renewable feedstocks, energy-efficient reactions, and improved recovery of materials. Process redesign can also reduce operating costs by decreasing losses of raw materials and energy.

Waste Management

Green chemistry shifts emphasis from waste treatment toward waste prevention. Materials can be designed to facilitate recycling, biodegradation, recovery, or safe disposal. This approach reduces the volume and hazard of waste requiring downstream treatment and supports more efficient use of resources.

Green Chemistry and Sustainable Development

Green chemistry contributes to sustainable development by addressing environmental, economic, and social concerns within chemical production and use. Its principles support pollution prevention, responsible consumption and production, resource conservation, climate action, and protection of human health. The United Nations Environment Programme (UNEP, 2023) emphasizes the role of green and sustainable chemistry in supporting the Sustainable Development Goals and encourages practical strategies for implementation.

There are also economic benefits. Reduced waste, lower energy demand, improved resource efficiency, and safer working conditions can lower operating costs and create opportunities for new products, technologies, and employment. Green chemistry therefore links environmental protection with industrial efficiency rather than treating sustainability as separate from economic performance.

Challenges to the Adoption of Green Chemistry

High Initial Costs

Transitioning to greener processes may require new equipment, catalysts, analytical systems, process-control technologies, and research investment. Small and medium-sized enterprises may face particular difficulties in financing such changes.

Inadequate Infrastructure

In many developing economies, limited laboratory facilities, waste-management systems, pilot-scale infrastructure, analytical equipment, and reliable renewable-energy supplies constrain the development and adoption of green technologies.

Limited Technical Expertise

Successful implementation requires knowledge that crosses chemistry, engineering, toxicology, environmental science, materials science, biotechnology, and data science. Shortages of appropriately trained personnel can therefore slow the adoption and scale-up of green processes.

Regulatory Barriers

Existing regulatory systems may not provide sufficient incentives for safer alternatives or may impose lengthy approval procedures for innovative technologies. Effective policy should encourage pollution prevention while maintaining appropriate standards for health and environmental protection.

Performance and Scalability

A process that performs satisfactorily in the laboratory may encounter technical or economic difficulties during industrial scale-up. Catalyst stability, feedstock availability, product separation, process control, and waste recovery may become more difficult at larger scales.

Sustainability Trade-Offs

A technology that performs well according to one environmental indicator may create impacts elsewhere. For example, a bio-based material may reduce fossil-resource consumption while increasing land or water requirements. Life-cycle assessment is therefore important for identifying such trade-offs and supporting balanced decisions.

Future Perspectives

The future development of green chemistry is likely to depend increasingly on collaboration among chemistry, biotechnology, nanotechnology, engineering, environmental science, and digital technologies. Safe-and-sustainable-by-design approaches are particularly important

because they encourage safety, sustainability, functionality, and life-cycle impacts to be considered from the earliest stages of innovation (Caldeira *et al*., 2024; Apel *et al*., 2024).

Priority areas include renewable and waste-derived feedstocks; solvent-free and water-based synthesis where appropriate; recyclable and earth-abundant catalysts; biodegradable and recyclable materials; energy-efficient manufacturing; carbon-efficient chemical production; process monitoring; circular manufacturing; life-cycle assessment; and stronger green chemistry education and professional training.

Recommendations

1. Universities and other tertiary institutions should strengthen green chemistry education at undergraduate and postgraduate levels. Students should be trained to evaluate chemical processes in terms of yield and purity as well as toxicity, waste generation, energy use, and resource efficiency.
2. Governments should provide grants, tax incentives, and other appropriate forms of financial support for industries that adopt cleaner production technologies. Policies should give greater emphasis to pollution prevention rather than relying primarily on end-of-pipe treatment.
3. Universities, research institutes, and industries should establish stronger partnerships to translate laboratory-scale green technologies into technically feasible and commercially viable processes.
4. Countries with substantial agricultural resources should support research into the conversion of agricultural residues and other renewable resources into useful chemicals, materials, and fuels.
5. Research programmes should prioritize sustainable catalysts based on abundant and less toxic elements, together with effective catalyst recovery, reuse, and recycling.
6. Developing economies should strengthen laboratory facilities, pilot-scale plants, analytical capacity, renewable-energy infrastructure, and appropriate waste-management systems required for green chemistry research and implementation.

Conclusion

Green chemistry provides a practical framework for transforming chemical production from a resource-intensive and pollution-generating system into one that is safer, more efficient, and more sustainable. Its emphasis on prevention incorporates waste reduction, atom economy, renewable feedstocks, safer solvents, energy efficiency, catalysis, safer products, degradation, real-time monitoring, and accident prevention into the design of chemical processes and products.

The growing relationship between green chemistry, circular chemistry, safe-and-sustainable-by-design approaches, biotechnology, nanotechnology, and digital technologies offers further opportunities for improving chemical sustainability. Nevertheless, technological innovation alone is insufficient. Financial constraints, inadequate infrastructure, skills shortages, regulatory limitations, scale-up challenges, and environmental trade-offs must also be addressed. Wider adoption will depend on sustained investment in research and education, effective industry–academia collaboration, appropriate infrastructure, supportive policies, and life-cycle assessment. Coordinated action by researchers, educational institutions, industry, government, and communities can strengthen the contribution of green chemistry to pollution prevention, resource conservation, human-health protection, and sustainable economic development.

References

Ali, Z., Ma, J., & Sun, R. (2024). Scaling up clean production of biomass-derived organic acids as a step towards the realization of dual carbon goals: A review. *Green Chemistry*, 26, 11061–11082.

Apel, C., Kümmerer, K., Sudheshwar, A., Nowack, B., Som, C., Colin, C., et al. (2024). Safe- and- sustainable-by-design: State of the art approaches and lessons learned from value

chain perspectives. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 45, 100876.

Caldeira, C., Abbate, E., Moretti, C., Mancini, L., & Sala, S. (2024). Safe and sustainable chemicals and materials: A review of sustainability assessment frameworks. *Green Chemistry*, 26, 7456–7477.

Delolo, F. G., Almeida, L. D., Vieira, G. M., dos Santos, E. N., & Gusevskaya, E. V. (2025). Green solvents in hydroformylation-based processes and other carbonylation reactions. *Green Chemistry*, 27, 4816–4866.

Ding, M., Song, S., & Li, X. (2024). A perspective on renewable production of amino acids from biomass through the chemocatalytic method. *Green Chemistry*, 26, 4468–4476.

Flerlage, H., & Slootweg, J. C. (2023). Modern chemistry is rubbish. *Nature Reviews Chemistry*, 7, 593–594.

Kurul, F., Doruk, B., & Topkaya, S. N. (2025). Principles of green chemistry: Building a sustainable future. *Discover Chemistry*, 2, 68.

Slootweg, J. C. (2024). Sustainable chemistry: Green, circular, and safe-by-design. *One Earth*, 7,
754–758.

Sudheshwar, A., Apel, C., Kümmerer, K., Wang, Z., Soeteman-Hernández, L. G., & Valsami-Jones, E. (2024). Learning from Safe-by-Design for Safe-and-Sustainable-by-Design: Mapping the current landscape of Safe-by-Design reviews, case studies, and frameworks. *Environment International*, 183, 108305.

United Nations Environment Programme. (2023). Practical Guidance for Strategic Action to Advance Green and Sustainable Chemistry. U.S. Environmental Protection Agency. (2026).
Basics of Green Chemistry.

Yenare, P. P., Patare, R. D., Sonawane, B. P., & Sanap, K. K. (2025). Green chemistry innovation: A systematic review on sustainable catalysis and its strategic future directions. *Catalysis Science & Technology*, 15, 7295–7323.

PLURICENTRIC APPROACHES TO TEACHING ENGLISH PRONUNCIATION AMONG ONLINE COMMUNITY TEACHERS IN NIGERIA

Isiakpere, Sunshine Harriet
Department of English Studies School of Graduate Studies
University of Port HarcourtPort Harcourt, Nigeria.

Abstract
The study examined adoption of pluricentric methods of teaching English pronunciation among online teachers in Nigeria, using four theories, pluricentricity theory, multiliteracies theory, social semiotic theory and framing theory. Nigerian teachers are now faced with a variety of different models of pronunciation other than the usual British and American ones with the growing globalization of English and the emergence of digital learning opportunities. The study examines the adoption rate, prevailing types, the factors affecting usage and views on pluricentric pronunciation practices based on a quantitative survey of 100 online English teachers. Descriptive and inferential statistics were created using regression and t-tests to establish gender differences and demographic effects on the results. The results indicate that the majority of teachers combine mixed models of pronunciation, as they use pluricentric models to improve the qualities of intelligibility, inclusivity, and communicative competence. The most significant factors were found to be years of teaching experience and international media exposure, with female teachers showing a much greater rate of adoption than male teachers. The researcher concluded that pluricentric methods played a crucial role in the successful delivery of the lessons investigated in the study. and can enhance the fostering of confidence, understanding, and communicability skills in learners across online learning communities in Nigeria. It proposes instilling pluricentric phonology in in-service training, pedagogy, and education policy in Nigeria. The study also recommended that teachers should focus on the intelligibility rather than compliance to any particular native norm alone.
Keywords: *Pluricentric Approaches, Nigerian English, teaching pronunciation, Intelligibility, World Englishes,*

THE IMPACT OF AI ON FINANCE, ECONOMY AND DEVELOPMENT: BALANCING TECHNOLOGICAL ADVANCEMENTS WITH ETHICAL, EMPLOYMENT AND OPERATIONAL CHALLENGES

Shahriar Hasan Mridha Ratul
Masters of Science (MSc) in GIS and Development (MSGED), Department of Geography and Environment, Jahangirnagar University, Kalabagan Rd, Savar 1342, Dhaka, Bangladesh; B. Arch Graduate, Department of Architecture, Southeast University (SEU), Dhaka, Bangladesh
ORCID Id: 0009-0002-0503-0076
Laila Arzumand Banu
Assistant Professor, Department of Architecture, Pabna University of Science and Technology (PUST), Pabna, Bangladesh
Md Eamin Mia
Graduate School of Economics, Saga University, Saga, Japan;
ORCID Id: 0009-0007-2972-5872
Sabya Sachi Chanda Antor
Faculty of Agricultural Economics and Business Studies, Sylhet, Agricultural University, Bangladesh
ORCID iD: 0000-0001-7833-2740
Piyas Ranjan Biswas
Department of Finance and Banking, Comilla University (CoU), Cumilla-3506, Bangladesh;
ORCID iD: 0009-0005-5941-1968;
Foysal Khan
Department of Finance and Banking, Comilla University (CoU), Cumilla-3506, Bangladesh;
ORCID iD: 0009-0002-7091-0651
Sharmin Akter
Department of Child Development and Social Relationship, Government College of Applied Human Science, Home Economics Unit of Dhaka University, Dhaka-1205, Bangladesh ORCID iD: 0009-0003-6979-8831
K. M. Shakik Ahmed Walid
Environmental Consultant, EQMS Consulting Limited, Dhaka, Bangladesh; Department of Civil Engineering (CE), University of Asia Pacific (UAP), Dhaka, Bangladesh;
ORCID iD: 0009-0002-0445-0810

Abstract

Artificial Intelligence (AI) is increasingly influencing financial systems, economic activities, and development processes by improving prediction, automation, decision-making, and resource allocation across sectors. Recent advances in machine learning, generative AI, predictive analytics, and intelligent automation have further expanded the application of AI across professional and institutional settings. This study examines the multidimensional impact of AI on finance, economy, and development, with particular attention to technological opportunities and ethical, employment, and operational challenges. A comprehensive review approach is used, drawing on recent scholarly literature, international policy frameworks, and industry reports to synthesize major applications, benefits, risks, and governance priorities across financial, economic, engineering, built-environment, and social-development fields. In finance, AI improves financial forecasting, credit assessment, fraud detection, risk management, investment analysis, digital banking, auditing, and financial inclusion. Within the economy, AI supports agricultural economics through price forecasting, farm management, market analysis, resource

allocation, and supply-chain efficiency, while in business studies it strengthens marketing, consumer analysis, human resource management, strategic planning, entrepreneurship, and organizational decision-making. In development, AI contributes to architecture through generative design and building-performance analysis; to urban studies through smart-city planning, mobility assessment, land-use analysis, and sustainable urban management; and to civil engineering through structural monitoring, construction management, infrastructure maintenance, transportation analysis, disaster-risk assessment, and predictive maintenance. In social sciences, AI supports complex social-data analysis and evidence-based policymaking. Its applications in child development and social relationships include personalized learning, developmental assessment, communication support, and analysis of changing human interactions. However, these technological advancements also create ethical, employment, and operational concerns, including algorithmic bias, data privacy, cybersecurity, lack of transparency and accountability, digital inequality, job displacement, skills gaps, poor data quality, implementation costs, system reliability, infrastructure limitations, and difficulties integrating AI with existing systems. Although AI may reduce demand for some routine and repetitive occupations, it is also transforming existing professions and creating new opportunities that require digital literacy, analytical skills, interdisciplinary knowledge, and continuous workforce reskilling. AI can strengthen financial resilience, economic productivity, and inclusive development when supported by ethical governance, human oversight, workforce reskilling, transparent regulation, equitable technological access, and interdisciplinary collaboration. The long-term contribution of AI therefore depends not only on technological capability but also on responsible governance, workforce preparedness, institutional capacity, and human-centered implementation.

Keywords: Artificial Intelligence, Finance, Agricultural Economics, Business Studies, Architecture, Urban Studies, Civil Engineering, Social Sciences, Child Development, Sustainable Development

1. Introduction

Artificial intelligence now describes a family of computational capabilities rather than a single technology. Machine learning identifies statistical patterns; deep learning learns representations from high-dimensional data; natural-language systems process and generate text; computer vision interprets images; and optimization or reinforcement-learning systems recommend actions. These capabilities have become economically important because they lower the cost of prediction, classification, content generation and decision support. The modern shift is therefore not simply faster automation. It is the embedding of adaptive models into workflows where outputs influence credit, investment, pricing, production, infrastructure and access to public or private services (Jordan & Mitchell, 2015; LeCun et al., 2015).

Finance is an early and consequential adoption domain. Financial institutions possess large transaction datasets, repeated decision processes and outcomes that can often be quantified. AI is consequently used in credit scoring, anti-fraud monitoring, customer service, portfolio research, claims processing and compliance. Reviews of the field show a progression from isolated expert systems toward interconnected machine-learning pipelines and language-based assistants (Cao, 2023; Goodell et al., 2021). Yet the same conditions that make finance attractive for AI - scale, speed, interconnectedness and reliance on sensitive data - can amplify error, discrimination, cyber risk and market concentration. A model that performs well on average can still fail for a minority group, during a regime shift or when deployed outside its training environment.

The wider economic effect is equally conditional. Controlled studies report meaningful productivity gains from generative AI for writing and customer-support tasks, especially for less-experienced workers (Noy & Zhang, 2023; Brynjolfsson et al., 2025). These findings do not imply automatic economy-wide growth. Productivity appears when organizations redesign tasks, validate outputs, connect tools to reliable data and develop complementary skills. Exposure to AI also differs from displacement: a job contains multiple tasks, and technology may automate some while increasing demand for judgment, coordination or new work in others (Autor, 2015; Acemoglu & Restrepo, 2019).

Development sectors add a second layer of complexity. AI can support crop and price forecasting, smart-city planning, building and infrastructure monitoring, educational personalization and social-data analysis. However, low-resource settings may lack stable connectivity, compute, locally representative data, procurement capacity and technical staff. If these complements are absent, AI can widen rather than close development gaps. The distribution of benefits therefore depends on institutional readiness and on whether systems are designed around local needs, rights and constraints.

This study addresses three questions: (RQ1) Which AI applications and value pathways are most consistently supported across finance, economy and development? (RQ2) Which ethical, employment and operational risks recur across sectors? (RQ3) What governance architecture can preserve innovation while maintaining accountability and inclusion? The paper contributes an interdisciplinary synthesis, an explicit distinction between exposure and realized impact, and a lifecycle implementation framework that connects board-level governance to operational controls. It builds on the supplied presentation and manuscript while replacing unsupported generalizations with traceable evidence and clearly labeling exploratory author judgments.

2. Analytical Background

The analytical premise is that AI creates value through a chain of complements. Data must be relevant and lawful; models must match the decision problem; workflows must translate outputs into action; people must know when to rely on or challenge the system; and institutions must monitor outcomes. A high-performing model can therefore produce little value if it is attached to a poorly designed process. Conversely, a modest model can be useful when it removes a bottleneck, provides earlier warning or improves consistency. This socio-technical view is consistent with research on human-AI symbiosis and the automation-augmentation paradox: the same tool can substitute for routine steps while complementing expertise in ambiguous or high-stakes decisions (Jarrahi, 2018; Raisch & Krakowski, 2021).

Five outcome dimensions organize the synthesis: efficiency, productivity, decision quality, innovation and sustainability. Efficiency concerns time and cost per transaction. Productivity concerns output produced from labor and capital. Decision quality includes discrimination, calibration, timeliness and robustness, not only average accuracy. Innovation captures new services, designs and business models. Sustainability covers resource use, resilience, inclusion and long-run social value. These dimensions should not be collapsed into a single headline percentage because they are measured differently and may conflict. Faster approval, for example, is not an improvement if errors or unfair denials increase.

The paper also separates four risk domains. Model and data risk includes bias, drift, hallucination and weak explainability. Operational risk includes cyberattacks, vendor dependence, system failure and legacy integration. Labor and distributional risk covers displacement, wage effects, skills gaps and unequal access. Governance risk arises when accountability, documentation, consent or appeal mechanisms are unclear. The framework treats these domains as interdependent: weak data governance can produce biased decisions, trigger regulatory exposure, damage trust and create operational losses simultaneously.

A final distinction concerns stages of maturity. Descriptive and assistive systems summarize, classify or recommend while a person retains decision authority. Semi-automated systems execute routine steps but route exceptions to reviewers. Autonomous systems act with limited real-time approval. Risk generally increases with autonomy, scale, irreversibility and the vulnerability of affected people. The same model may therefore be low risk when drafting an internal summary and high risk when generating financial advice or evidence used to deny a loan. Use-case context, not the label 'AI', is the proper unit of governance.

3. Methodology

A structured integrative review was selected because the research question crosses fields that use different outcomes and methods. A statistical meta-analysis would be inappropriate: credit-scoring accuracy, worker productivity, crop prediction, urban sustainability and child rights cannot be reduced to a common effect size without losing meaning. The review instead combines peer-reviewed evidence with authoritative policy and regulatory sources and uses thematic synthesis to identify convergent mechanisms, boundary conditions and control requirements.

The evidence base was assembled through targeted searches of Crossref-indexed records, publisher platforms and the repositories of relevant international organizations. Search combinations joined terms for artificial intelligence, machine learning or generative AI with finance, banking, credit, fraud, investment, productivity, employment, agriculture, construction, smart city, education, child development, ethics, fairness, explainability, accountability and regulation. The review emphasized work published from 2010 through September 2026; earlier foundational concepts were considered only when necessary. Bibliographic metadata and digital object identifiers were checked against publisher or institutional records.

Inclusion required direct relevance to at least one research question, a clearly identifiable scholarly or institutional source, and substantive evidence or analysis of an application, outcome, risk or governance approach. Peer-reviewed journal articles, refereed conference papers, major law-review analyses and reports or legal instruments from recognized public institutions were eligible. Duplicates, untraceable statistics, promotional commentary, papers with only incidental mention of AI and claims without a recoverable source were excluded. The final portfolio contains 58 references: 48 academic publications and 10 institutional or legal sources.

Each source was coded on five fields: AI capability, sector, claimed outcome, documented risk and proposed control. A primary-domain tag was assigned for descriptive counting, while cross-domain relevance was retained in narrative notes. The resulting portfolio comprises two foundational AI studies, sixteen finance sources, thirteen economy/work/management sources, four agriculture sources, ten built-environment/education/social-development sources and thirteen governance/ethics sources. These counts describe the evidence portfolio; they do not rank sector importance or research quality.

The supplied presentation contained a 0-1 sector-impact heat map. This paper retains that matrix only as an exploratory, author-constructed synthesis. The values are not observations, effect sizes or forecasts and no inferential statistics are applied. Interpretation uses broad bands - strong (0.80 or higher), moderate-to-strong (0.70-0.79) and emerging or context-dependent (below 0.70) - to reduce false precision. Conclusions are grounded in the reviewed sources rather than in differences between adjacent matrix values.

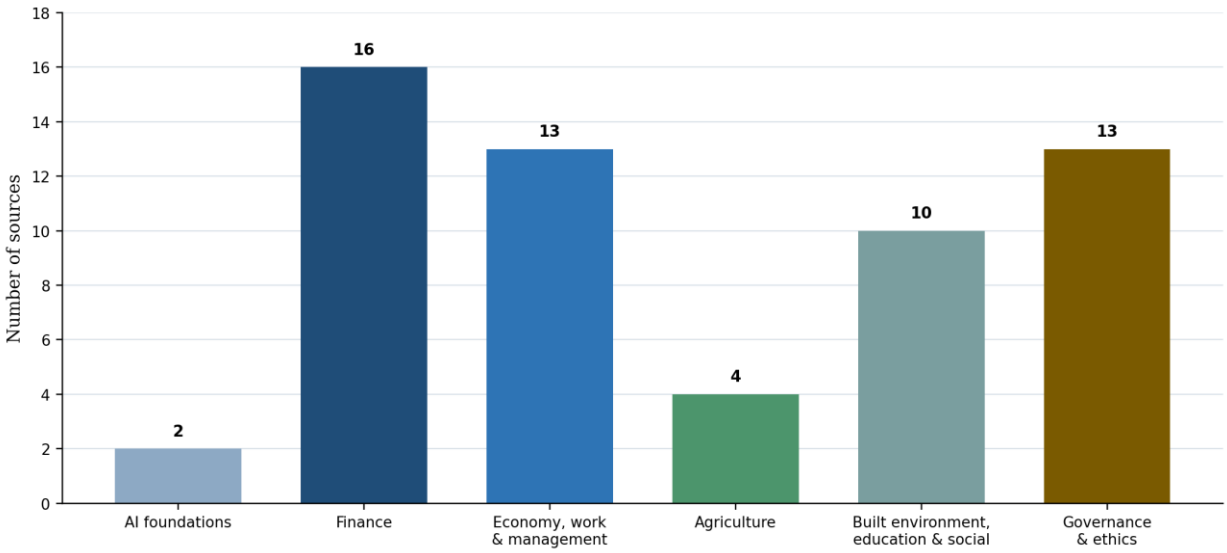


Figure 1. Distribution of the 58 reviewed sources by primary analytical domain. Counts describe the evidence portfolio, not sector importance.

Source: Authors verified reference inventory.

The method has three limitations. First, an integrative review is not an exhaustive database-by-database systematic review and may miss relevant studies. Second, publication and sectoral imbalances make mature domains such as finance more visible than emerging applications. Third, many studies measure technical performance or short-run task productivity rather than long-run welfare, distribution or systemic risk. Accordingly, the results identify robust themes and implementation conditions, not causal estimates of aggregate economic impact.

Synthesis proceeded in two passes. The first pass mapped each source to the five coding fields and identified recurring claims. The second compared claims across domains and searched for boundary conditions or contradictory evidence. A proposition was treated as cross-sectoral only when it appeared in more than one domain or in both scholarly and institutional evidence. Policy sources were used to interpret obligations and governance expectations, not as substitutes for empirical evidence. This separation helps prevent a common review error in which recommendations are presented as measured outcomes.

Table 1. Review scope, inclusion logic and coding structure

Component	Operational definition	Purpose
Evidence base	48 academic sources and 10 institutional/legal sources	Combine empirical, review, governance and policy evidence
Time window	2010-September 2026; foundational studies retained when necessary	Prioritize current AI practice while preserving key concepts
Core domains	Finance; economy/work/management; agriculture; built environment; education/social development; ethics/governance	Match the multidisciplinary scope of the source presentation
Coding fields	Capability, sector, outcome, risk and control	Trace the path from technical function to institutional consequence
Exclusions	Duplicates, untraceable claims, promotional sources and incidental AI mentions	Protect relevance and bibliographic integrity

Source: Authors' review protocol and verified reference inventory.

4. Results: Applications and Value Pathways

Across domains, the most consistent value mechanism is not autonomous replacement of decision makers but accelerated information processing. AI systems classify transactions, extract patterns from unstructured records, generate candidate content, rank options and flag anomalies. The operational advantage comes from scale and speed; the managerial advantage comes from directing scarce human attention to cases that require judgment. This pattern is visible in finance, organizations, agriculture, infrastructure and education, although the data, accountability threshold and acceptable error rate vary sharply by use case.

4.1 Banking, credit, fraud and customer service

Credit decisions illustrate both the promise and difficulty of AI. Benchmark studies show that advanced classifiers can improve predictive performance relative to traditional approaches, while machine-learning models can extract nonlinear relationships from borrower and transaction data (Khandani et al., 2010; Lessmann et al., 2015). Alternative digital footprints may improve screening for applicants with limited conventional credit histories (Berg et al., 2020). However, additional variables can also act as proxies for protected characteristics. Evidence from mortgage and consumer lending demonstrates that algorithmic innovation does not automatically remove disparities and may redistribute them in complex ways (Bartlett et al., 2022; Fuster et al., 2022). Responsible credit AI therefore requires subgroup testing, interpretable adverse-action reasons, data-minimization and a credible review or appeal route.

Fraud detection is another mature application. Supervised models recognize known fraudulent patterns, while anomaly detection highlights transactions that deviate from expected behavior. Reviews report extensive use of classification, clustering, neural networks and hybrid approaches (Ngai et al., 2011; West & Bhattacharya, 2016). The business value is earlier intervention and more focused investigation, but alert volume and false positives matter. A system that blocks legitimate payments or burdens particular customer groups can impose real costs. Human investigators remain necessary for contextual interpretation, feedback and escalation.

Table 2. Major financial applications, value mechanisms and required controls

Area	AI contribution	Potential value	Minimum control
Banking service	Chatbots, retrieval and agent assistance	Faster response and consistent handling	Grounded knowledge, disclosure, escalation and logging
Credit	Nonlinear scoring and alternative data	Faster decisions and thin-file coverage	Subgroup testing, reason codes, review and appeal
Insurance	Risk and claims pattern analysis	Pricing support and fraud triage	Data quality, contestability and anti-proxy checks
Investment	High-dimensional forecasting and research	Faster analysis and new signals	Out-of-sample tests, cost assumptions and regime monitoring
Security	Anomaly and fraud detection	Earlier alerts and focused investigation	False-positive review, investigator feedback and incident response

Adapted and expanded from the supplied presentation; evidence synthesis from Cao (2023), Leo et al. (2019), Lessmann et al. (2015), Ngai et al. (2011) and OECD (2021).

Customer-facing language models can summarize documents, answer routine questions and assist service staff, but they introduce a different error profile. Fluent output may be factually incorrect, inconsistent with policy or insufficiently grounded in customer records. Consequently, institutions should separate low-risk drafting and retrieval from binding advice or transaction authorization. The literature on banking risk management and explainable credit models supports

tiered controls, documented features, reason codes and validation proportionate to decision significance (Leo et al., 2019; Bussmann et al., 2021).

Financial inclusion is a possible outcome, not an automatic property of digital delivery. AI-enabled onboarding, translation, fraud controls and alternative-data assessment can reduce transaction costs and serve customers with limited branch access or conventional records. The same systems can exclude people who lack digital footprints, share devices, use informal income sources or cannot navigate automated interfaces. Inclusion should therefore be measured through approval, pricing, complaint, abandonment and service-quality outcomes across relevant groups. Assisted channels and human review are particularly important where identity, literacy or connectivity barriers make a fully digital process fragile.

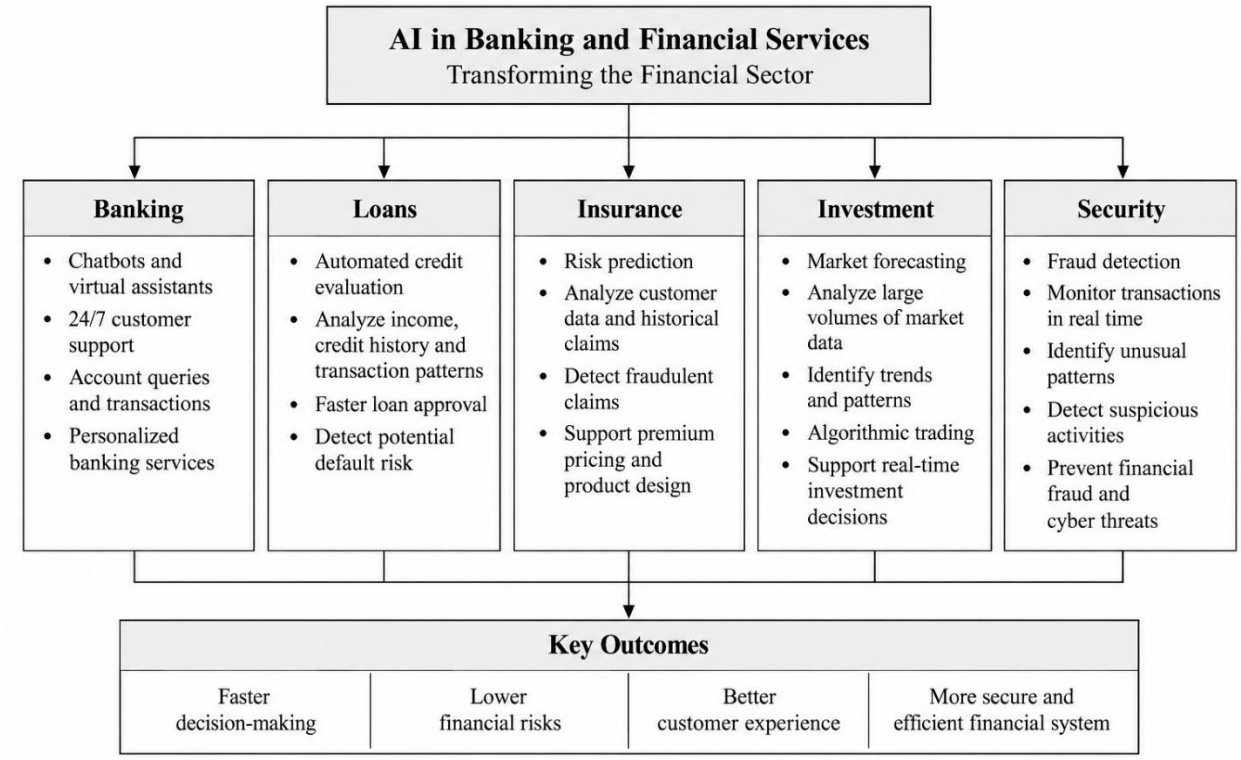


Figure 2. AI applications across banking and financial services.

Source: Adapted from the supplied presentation; interpretations are evaluated against the reviewed finance literature.

4.2 Investment, markets and financial-system effects

Machine learning is widely used to model asset returns, market direction and high-dimensional financial data. Empirical asset-pricing research shows that nonlinear models can capture interactions missed by simpler specifications, while deep sequence models can identify temporal patterns in large equity datasets (Gu et al., 2020; Fischer & Krauss, 2018). These findings support AI as a research and forecasting tool, not as a guarantee of profit. Financial data are non-stationary, transaction costs erode back-test performance, and widespread use of similar signals can change the market relationship the model learned.

At system level, speed and common dependence create externalities. The Financial Stability Board identifies third-party concentration, model opacity, cyber risk, market correlation and misinformation as potential vulnerabilities when AI becomes embedded across financial institutions (Financial Stability Board, 2024). The OECD similarly emphasizes consumer protection, competition, market integrity and supervisory capacity (OECD, 2021). Risk management should therefore examine not only individual model accuracy but also correlated

behavior, cloud and model-provider dependencies, liquidity effects and the institution's ability to operate when the AI service is unavailable. Digital-finance research reinforces the need to evaluate technology together with business function and institutional structure (Gomber et al., 2017).

4.3 Productivity, organizations and employment

At task level, generative AI can raise output and quality. In a controlled writing experiment, access to a generative system reduced completion time and improved assessed quality on average (Noy & Zhang, 2023). A large customer-support study found that an AI assistant increased productivity and delivered larger gains for novice or lower-skill workers, consistent with the diffusion of useful practices through the tool (Brynjolfsson et al., 2025). Marketing research anticipates similar changes in insight generation, personalization and customer interaction (Davenport et al., 2020). These results suggest a practical adoption sequence: identify bounded tasks, ground the system in relevant information, measure quality and time, and redesign the surrounding workflow.

Job exposure remains broader than immediate automation. Occupational measures show that AI affects different industries, geographies and task bundles unevenly (Felten et al., 2021; Eloundou et al., 2024). Economic theory and historical evidence distinguish displacement of existing tasks from the creation or reinstatement of new tasks (Autor, 2015; Acemoglu & Restrepo, 2019). Evidence on industrial robots also warns that localized employment and wage effects can be negative even when aggregate productivity rises (Acemoglu & Restrepo, 2020). Thus, the relevant policy question is not whether AI creates or destroys a single global number of jobs, but who faces transition costs, which skills become complementary and whether institutions share productivity gains.

Current global assessments underline the scale of transition. The IMF estimates that AI exposure reaches a substantial share of global employment, with higher exposure in advanced economies but different complementarity patterns across income groups (Cazzaniga et al., 2024). The ILO finds that generative AI is more likely to transform many occupations than fully automate them, with clerical work particularly exposed and gendered effects requiring attention (Gmyrek et al., 2023). Employer surveys reported by the World Economic Forum anticipate significant job churn and strong demand for AI, data, cybersecurity, analytical and human skills through 2030 (World Economic Forum, 2025). These sources converge on reskilling, job redesign and social dialogue rather than passive adjustment.

4.4 Agriculture and rural development

Agriculture combines biological uncertainty, spatial variability and thin margins, making timely prediction valuable. Machine learning and deep learning have been applied to yield estimation, disease recognition, weed detection, soil and weather analysis, irrigation and precision input management (Liakos et al., 2018; Kamilaris & Prenafeta-Boldu, 2018). Connected sensors and farm-management platforms can integrate field, market and supply-chain data, potentially improving resource efficiency and climate adaptation (Wolfert et al., 2017).

The development outcome depends on ownership and usability. Smallholders may not benefit if connectivity is unreliable, services are unaffordable, data are extracted without fair terms or models are trained on environments unlike their own. Social-science research on digital agriculture highlights changes in advisory roles, power relations and farmer autonomy, not just technical performance (Klerkx et al., 2019). Public policy should therefore support local data partnerships, extension services, open standards and evaluation by farm type, gender, region and income rather than assuming uniform benefit.

Economic evaluation should include the full adoption system: sensors or imagery, data cleaning, connectivity, maintenance, farmer training and the cost of acting on a recommendation. A

forecast has limited value when credit, inputs or market access are unavailable. Conversely, modest predictive improvement can be valuable when it is delivered through trusted extension networks and connected to feasible actions. This explains why technical accuracy alone is an incomplete development metric.

4.5 Architecture, cities and civil infrastructure

In architecture and construction, AI supports generative option development, schedule and cost prediction, safety monitoring, defect detection and maintenance planning. Reviews of construction engineering and the architecture-engineering-construction research landscape show rapid growth in computer vision, knowledge-based systems, optimization and predictive analytics (Pan & Zhang, 2021; Darko et al., 2020). Semantic digital twins extend this logic by linking models, assets and operational data across the infrastructure lifecycle (Boje et al., 2020). The strongest applications are decision support and early warning; responsibility for code compliance, public safety and professional judgment remains human.

Smart-city applications integrate mobility, land use, energy, public services and environmental information. Interdisciplinary reviews connect data-rich urban systems with sustainability and responsive management, while also warning that technological integration is not equivalent to social inclusion (Bibri & Krogstie, 2017; Allam & Dhunny, 2019). Urban AI can optimize a measurable variable and still harm communities if the objective omits accessibility, affordability or procedural justice. Participatory problem definition, privacy-preserving data governance and public explanation are therefore part of system quality, not external constraints.

4.6 Education, social development and children

AI in education can support feedback, tutoring, assessment and content adaptation. A systematic review of higher-education applications found substantial technical activity but comparatively limited educator-centered research, illustrating a recurring gap between model development and institutional practice (Zawacki-Richter et al., 2019). Large language models can help explain concepts, generate examples and reduce drafting friction, but they also produce inaccurate content, enable over-reliance and complicate assessment and academic integrity (Kasneci et al., 2023). Human pedagogy, verification and clear disclosure remain essential.

Children require heightened safeguards because data collection, profiling and automated interaction can influence development and rights. Research on the datafied child shows how routine digital systems can normalize persistent monitoring (Lupton & Williamson, 2017). UNICEF's child-centered guidance emphasizes safety, privacy, fairness, transparency, inclusion, well-being and meaningful participation (UNICEF, 2021). Applications intended for developmental assessment or relationship support should therefore be validated for age and context, minimize data, avoid manipulative design and keep caregivers and qualified professionals in the decision loop.

Table 3. Development-sector pathways and boundary conditions

Sector	Illustrative applications	Development pathway	Critical boundary condition
Agriculture	Yield/disease prediction, irrigation, market analysis	Productivity, resource efficiency and climate adaptation	Local data, affordability, extension support and farmer agency
Architecture/construction	Generative options, safety vision, schedule and cost analytics	Design iteration, safety and project control	Code compliance, professional accountability and data integration

Urban systems	Mobility, land-use, energy and service analytics	Responsive planning and sustainability	Privacy, participation, accessibility and public legitimacy
Civil infrastructure	Structural monitoring, predictive maintenance and disaster assessment	Resilience, safety and lifecycle efficiency	Sensor reliability, validation and fail-safe procedures
Education	Tutoring, feedback, assessment and content support	Personalization and expanded learning support	Pedagogical validity, verification and educator oversight
Child/social development	Developmental support and social-data analysis	Targeted services and evidence-informed policy	Child rights, consent, data minimization and qualified review

Adapted from the supplied presentation and synthesized from Liakos et al. (2018), Pan and Zhang (2021), Bibri and Krogstie (2017), Zawacki-Richter et al. (2019) and UNICEF (2021).

4.7 Cross-sector synthesis

The exploratory heat map from the source presentation suggests different sectoral emphases. Finance is coded strongly on efficiency and decision-making; business on innovation; agriculture, architecture, cities and civil engineering on sustainability. The pattern is plausible because sector objectives differ, but the values should be read as a discussion aid rather than measured rankings. More important than the numeric ordering is the cross-sector regularity: AI contributes when data-to-decision cycles are slow or complex, and it fails when objectives are incomplete, data are unrepresentative or no accountable actor owns the outcome. A second regularity is that efficiency is easier to demonstrate than welfare. Time saved, alerts generated or prediction error can be measured relatively quickly. Distributional effects, trust, resilience and environmental rebound may appear later or outside the deploying organization. A conference-quality evaluation should therefore pair technical metrics with outcome, equity and operational measures.

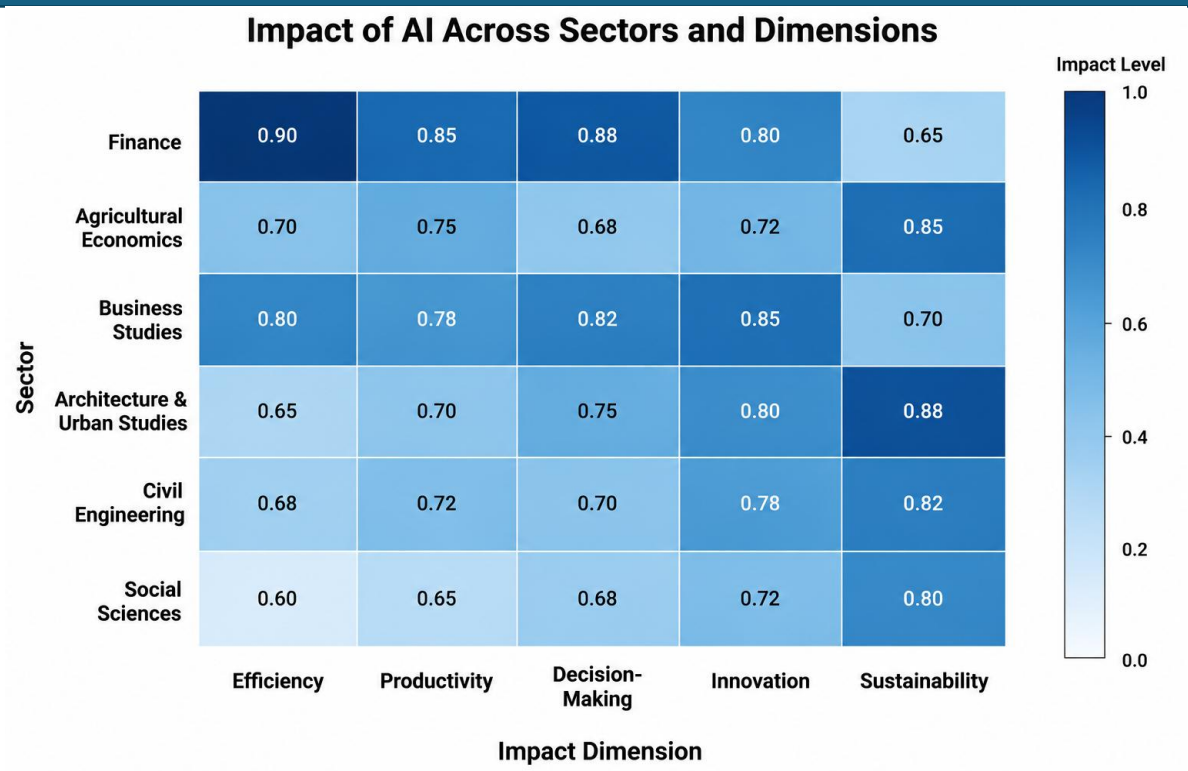


Figure 3. Exploratory sector-impact matrix from the source presentation.
Note: Values are author-constructed thematic indicators, not measured effect sizes or forecasts. They are interpreted only in broad bands.

5. Ethical, Employment and Operational Challenges

5.1 Bias, privacy and explainability

Bias can enter through historical labels, sampling, measurement, feature construction, objective choice and deployment context. Legal and technical scholarship shows why removing a protected attribute does not eliminate disparate impact: correlated variables and institutional histories may preserve inequity (Barocas & Selbst, 2016; Mehrabi et al., 2022). Fairness is also not a single technical property. Different definitions can conflict, and abstraction can hide the social process that produced the data or decision (Selbst et al., 2019). Governance must therefore define affected groups, error costs and acceptable trade-offs before selecting a metric.

Explainability should be matched to purpose. Developers may need diagnostic transparency; validators need evidence of stability and feature behavior; customers need understandable reasons and appeal routes; and regulators need auditability. In high-stakes settings, interpretable models may be preferable to post-hoc explanations of a black box (Rudin, 2019). Where complexity is justified, explainable-AI methods can support analysis but should not be mistaken for proof of causality, fairness or safety (Arrieta et al., 2020). Privacy controls should cover collection, legal basis, minimization, retention, access, sharing and secure deletion across the entire pipeline.

5.2 Generative-model and data-governance risk

Generative models add uncertainty because plausible language can mask error, source ambiguity or fabricated content. Research on large language models warns that scale can reproduce harmful patterns and obscure the labor, data and environmental conditions of model production (Bender et al., 2021). Dataset documentation improves accountability by recording motivation, composition, collection, preprocessing, recommended uses and limitations (Gebru et al., 2021). For enterprise deployment, equivalent documentation should extend to prompts, retrieval

sources, model versions, evaluation sets and known failure modes.

Accountability cannot be delegated to a vendor or an explanation interface. Internal algorithmic auditing research recommends end-to-end documentation, testing, escalation and institutional ownership (Raji et al., 2020). Organizations should record who approves the use case, who can change the model, who monitors performance, who decides on exceptions and who communicates with affected users. This is especially important when a third-party foundation model is combined with local data and business rules, because responsibility is distributed while the user experiences a single service.

5.3 Operational resilience, cybersecurity and financial stability

Operational risk includes data-pipeline failure, drift, prompt injection, model extraction, insecure integrations, hallucination, inadequate capacity, outage and vendor lock-in. In finance, correlated reliance on a small number of cloud or model providers can create concentration risk. Similar models can also reinforce herding or accelerate the transmission of misinformation. The appropriate response is not a blanket prohibition but architecture that anticipates failure: access controls, segregated environments, approved data sources, adversarial testing, fallback procedures, incident reporting and periodic exercises in which the AI component is unavailable.

Model monitoring should include performance by subgroup and market regime, not only aggregate accuracy. Triggers must lead to action: thresholds for review, rollback or suspension; named owners; and tested manual alternatives. Continuous monitoring in the source presentation is therefore best understood as a governance loop rather than a dashboard. The system is measured, feedback is investigated, controls are updated and decision rights remain explicit.

Implementation cost is often underestimated because organizations focus on model access rather than integration. Production use requires data engineering, identity and access management, testing environments, user training, support, legal review, monitoring and incident response. Legacy systems may not expose reliable interfaces, and vendor updates can change behavior without an obvious code change inside the adopting organization. A total-cost assessment should include these complements, expected review workload and the cost of maintaining a non-AI fallback.

5.4 Employment, inequality and the development divide

Transition risk is concentrated. Workers whose tasks can be standardized may face reduced demand or closer algorithmic management, while workers with domain expertise and AI-complementary skills may gain. Firms and governments should assess tasks rather than job titles, consult affected workers, provide paid training and track whether productivity gains improve job quality. Reskilling is not a complete safeguard if new roles are geographically inaccessible, precarious or available only to workers who can self-finance education.

International inequality creates a parallel concern. The World Bank documents large gaps in compute, data, skills and institutional capacity while highlighting opportunities for smaller, locally adapted AI systems in lower-income countries (World Bank, 2025). A development strategy should prioritize public-interest use cases, language and cultural representation, affordable infrastructure, interoperability and local capability. Otherwise, countries may become dependent consumers of externally governed models while bearing privacy, labor and fiscal risks.

Table 4. Cross-sector risk taxonomy

Risk domain	Failure mechanism	Illustrative consequence	Control response
Model/data	Bias, drift, hallucination, weak construct validity	Unfair or inaccurate decisions	Data documentation, subgroup tests, calibration and bounded use

Operational/ cyber	Outage, prompt injection, insecure integration, supplier concentration	Service disruption, data loss or cascading financial effects	Defense in depth, fallback plans, red teaming and supplier oversight
Labor/distribution	Task substitution, skill gaps and unequal access	Displacement, wage pressure or concentrated gains	Task redesign, paid reskilling, consultation and distributional metrics
Governance	Unclear ownership, opacity, weak appeal and policy mismatch	Rights violations, regulatory exposure and loss of trust	Named decision owners, audit trails, disclosure and contestability

Authors' synthesis of the reviewed literature and policy frameworks.

6. A Responsible AI Implementation Framework

The synthesis supports a five-pillar framework adapted from the supplied presentation: ethical governance, transparent and documented algorithms, data protection, human supervision and continuous monitoring. These pillars align with international frameworks that emphasize risk management, human rights and proportional obligations. NIST organizes AI risk management around Govern, Map, Measure and Manage (Tabassi, 2023). UNESCO frames responsible AI around human dignity, rights, fairness, transparency and sustainability (UNESCO, 2021). The European Union's AI Act applies risk-based duties to AI systems and strengthens requirements for high-risk uses (European Union, 2024). Global reviews of ethics guidance similarly find recurring principles but warn that implementation mechanisms vary (Jobin et al., 2019; Floridi et al., 2018).

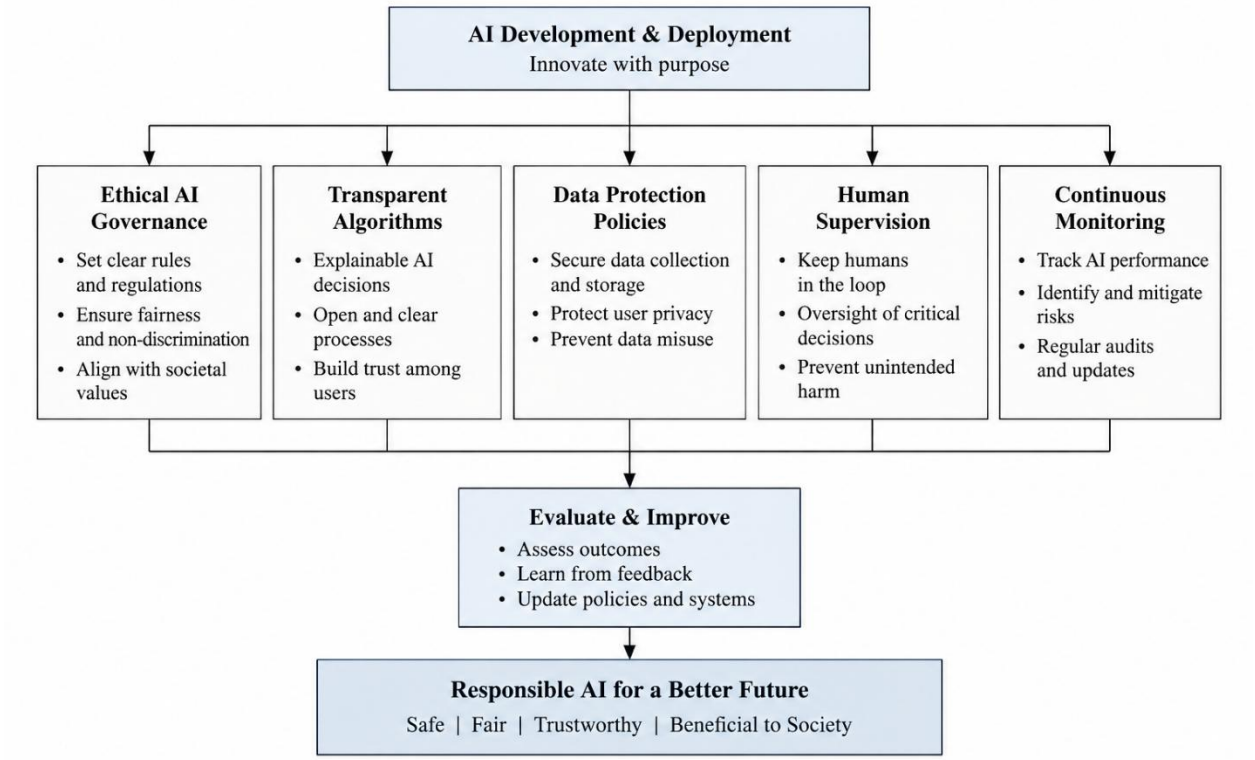


Figure 4. Five-pillar responsible AI implementation framework.

Source: Supplied presentation, refined in Section 6 using NIST, UNESCO and EU governance sources.

6.1 Pillar 1: Govern the use case

Governance begins with a specific decision, not with a general desire to use AI. The sponsor should document the intended benefit, affected people, prohibited uses, risk tier, accountable owner and evidence required before deployment. High-stakes uses - credit denial, employment selection, safety decisions, developmental assessment or essential public services - require stronger validation, explanation and appeal. A cross-functional committee can set policy, but operational accountability must remain with named business and technical owners.

6.2 Pillar 2: Document models and decisions

Transparency means traceability proportionate to audience. Records should cover data provenance, feature or retrieval sources, model and prompt versions, evaluation design, limitations, human overrides and material incidents. User-facing explanations should state when AI is involved, what role it played and how a person can obtain review. Documentation is valuable only if it is maintained as the system changes; a static model card cannot substitute for change control.

6.3 Pillar 3: Protect data and systems

Data protection should be designed into architecture. Organizations should minimize collection, separate identifiers where possible, control access, encrypt sensitive data, define retention, test suppliers and prevent confidential information from entering unapproved models. Security testing should cover both conventional infrastructure and AI-specific attack surfaces. Procurement contracts should preserve audit rights, incident notification, data-use limits, portability and exit options.

6.4 Pillar 4: Preserve meaningful human oversight

Human oversight is meaningful only when reviewers have time, competence, authority and information to challenge the output. Rubber-stamping a recommendation does not reduce risk. The system interface should expose uncertainty and relevant evidence, route ambiguous cases to qualified reviewers, and record overrides for learning. Critical decisions require a clear human decision owner; lower-risk automation can use sampling and exception review.

6.5 Pillar 5: Monitor outcomes and improve

Monitoring should connect technical, operational and social indicators. Examples include calibration, false-positive rates, subgroup disparities, latency, uptime, override patterns, complaint rates, security events and realized business or public outcomes. Metrics need thresholds and pre-agreed responses. Independent review is useful for high-risk systems, while periodic red-team and resilience exercises test behavior outside routine conditions. The objective is controlled learning: scale successful uses, repair weak controls and stop uses whose benefit cannot justify their risk.

Table 5. Lifecycle control matrix for responsible AI

Stage	Key question	Required evidence	Decision gate
Purpose and risk	What decision changes and who may be affected?	Use-case statement, baseline, stakeholder and risk classification	Approve, redesign or prohibit
Data and design	Are data lawful, relevant and representative?	Provenance, quality, privacy, subgroup and supplier records	Proceed to controlled testing
Validation	Does the system work under realistic and adverse conditions?	Accuracy, calibration, robustness, fairness and security results	Approve with limits or return for repair
Deployment	Can people supervise and recover from failure?	Training, interface, escalation, fallback and change-management plan	Limited release before scale

Monitoring	Are outcomes stable and benefits realized?	Drift, incidents, complaints, overrides, equity and outcome metrics	Continue, modify, rollback or retire

Authors' framework, aligned with NIST AI RMF 1.0, UNESCO guidance and the EU AI Act.

7. Discussion and Implications

Three implications follow. First, AI impact is contingent rather than intrinsic. Adoption counts, model size or automation rates are poor proxies for value. Institutions should evaluate changes in decision quality, service access, productivity, resilience and distribution against a baseline. Second, governance is a productive capability. Clear data lineage, evaluation standards and decision rights reduce costly rework and make responsible scaling faster. Third, human capability remains central. Domain experts define valid objectives, identify implausible outputs, resolve exceptions and communicate with affected people.

For financial institutions, the priority is a use-case inventory tied to model risk, conduct risk, cybersecurity and third-party oversight. Credit and investment models need regime and subgroup analysis; generative assistants need grounded retrieval, output constraints and clear limits on autonomous action. Supervisors need skills and information to assess common dependencies and emerging system-level behavior. For businesses, the practical unit of transformation is the workflow. Pilots should include a control group or baseline, quality review and worker feedback before wider rollout.

For development policy, the objective should be capability building rather than technology acquisition. Investment in connectivity, data governance, local languages, education, public-interest datasets and procurement competence determines whether AI can be adapted to local problems. Agriculture, cities, education and infrastructure require participatory design because affected communities often understand constraints not visible in technical datasets. Child-related systems require especially conservative data and interaction policies.

The paper's integrative method also identifies a research agenda. More longitudinal evidence is needed on productivity after novelty effects, distribution of gains within firms, performance under economic stress, environmental cost, and outcomes in low- and middle-income settings. Evaluations should report subgroup results and operational incidents, not just average benchmark accuracy. Cross-sector studies should test whether governance practices transfer or whether controls must be redesigned for each institutional context.

For policymakers, sequencing matters. Early measures can establish procurement standards, incident channels, data-protection baselines and regulatory learning environments while avoiding premature rules tied to a specific model architecture. Higher-risk uses can then receive sector-specific requirements, independent evaluation and stronger appeal rights. Workforce policy should connect employers, universities and technical institutes so that training reflects changing tasks rather than generic awareness. In developing economies, regional infrastructure and shared evaluation resources may reduce cost, but public institutions should preserve control over sensitive data and essential services.

8. Conclusion

AI can strengthen finance, economic activity and development by accelerating analysis, improving prediction and extending decision support. The evidence is strongest for bounded, data-rich tasks embedded in workflows with measurable outcomes. Benefits are not automatic: model error, bias, privacy loss, cyber vulnerability, job transition and unequal infrastructure can offset efficiency gains or shift costs to people with less power. A responsible path combines innovation with five operational commitments: govern the use case, document the system, protect data, preserve meaningful human oversight and monitor outcomes continuously. This approach reframes the future not as humans versus machines, but as a choice about how institutions design

human-AI systems. Financial resilience, productive growth and inclusive development will depend less on adopting the largest model than on building accountable organizations capable of using AI well.

References

Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2019). Automation and new tasks: How technology displaces and reinstates labor. Journal of Economic Perspectives, 33(2), 3-30. https://doi.org/10.1257/jep.33.2.3

Acemoglu, D., & Restrepo, P. (2020). Robots and jobs: Evidence from US labor markets. Journal of Political Economy, 128(6), 2188-2244. https://doi.org/10.1086/705716

Allam, Z., & Dhunny, Z. A. (2019). On big data, artificial intelligence and smart cities. Cities, 89, 80-91. https://doi.org/10.1016/j.cities.2019.01.032

Arrieta, A. B., Diaz-Rodriguez, N., Del Ser, J., et al. (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

Autor, D. H. (2015). Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation. Journal of Economic Perspectives, 29(3), 3-30. https://doi.org/10.1257/jep.29.3.3

Barocas, S., & Selbst, A. D. (2016). Big data's disparate impact. California Law Review, 104(3), 671-732. https://doi.org/10.15779/Z38BG31

Bartlett, R., Morse, A., Stanton, R., & Wallace, N. (2022). Consumer-lending discrimination in the FinTech era. Journal of Financial Economics, 143(1), 30-56. https://doi.org/10.1016/j.jfineco.2021.05.047

Bender, E. M., Gebru, T., McMillan-Major, A., & Shmitchell, S. (2021). On the dangers of stochastic parrots: Can language models be too big? Proceedings of the 2021 ACM Conference on Fairness, Accountability, and Transparency, 610-623. https://doi.org/10.1145/3442188.3445922

Berg, T., Burg, V., Gombovic, A., & Puri, M. (2020). On the rise of FinTechs: Credit scoring using digital footprints. Review of Financial Studies, 33(7), 2845-2897. https://doi.org/10.1093/rfs/hhz099

Bibri, S. E., & Krogstie, J. (2017). Smart sustainable cities of the future: An extensive interdisciplinary literature review. Sustainable Cities and Society, 31, 183-212. https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.02.016

Boje, C., Guerriero, A., Kubicki, S., & Rezgui, Y. (2020). Towards a semantic construction digital twin: Directions for future research. Automation in Construction, 114, 103179. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103179

Brynjolfsson, E., Li, D., & Raymond, L. R. (2025). Generative AI at work. Quarterly Journal of Economics, 140(2), 889-942. https://doi.org/10.1093/qje/qjae044

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

Cao, L. (2023). AI in finance: Challenges, techniques, and opportunities. ACM Computing Surveys, 55(3), 1-38. https://doi.org/10.1145/3502289

Cazzaniga, M., Jaumotte, F., Li, L., Melina, G., Panton, A. J., Pizzinelli, C., Rockall, E. J., & Tavares, M. M. (2024). Gen-AI: Artificial intelligence and the future of work. IMF Staff Discussion Note 2024/001. International Monetary Fund. https://doi.org/10.5089/9798400262548.006

Darko, A., Chan, A. P. C., Adabre, M. A., Edwards, D. J., Hosseini, M. R., & Ameyaw, E. E. (2020). Artificial intelligence in the AEC industry: Scientometric analysis and visualization of research activities. Automation in Construction, 112, 103081.

https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103081
Davenport, T., Guha, A., Grewal, D., & Bressgott, T. (2020). How artificial intelligence will change the future of marketing. Journal of the Academy of Marketing Science, 48(1), 24-42. https://doi.org/10.1007/s11747-019-00696-0
Eloundou, T., Manning, S., Mishkin, P., & Rock, D. (2024). GPTs are GPTs: Labor market impact potential of LLMs. Science, 384(6702), 1306-1308. https://doi.org/10.1126/science.adj0998
European Union. (2024). Regulation (EU) 2024/1689 laying down harmonised rules on artificial intelligence (Artificial Intelligence Act). Official Journal of the European Union. https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2024/1689/oj/eng
Felten, E., Raj, M., & Seamans, R. (2021). Occupational, industry, and geographic exposure to artificial intelligence: A novel dataset and its potential uses. Strategic Management Journal, 42(12), 2195-2217. https://doi.org/10.1002/smj.3286
Financial Stability Board. (2024). The financial stability implications of artificial intelligence. https://www.fsb.org/2024/11/the-financial-stability-implications-of-artificial-intelligence/
Fischer, T., & Krauss, C. (2018). Deep learning with long short-term memory networks for financial market predictions. European Journal of Operational Research, 270(2), 654-669. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2017.11.054
Floridi, L., Cowls, J., Beltrametti, M., et al. (2018). AI4People - An ethical framework for a good AI society: Opportunities, risks, principles, and recommendations. Minds and Machines, 28(4), 689-707. https://doi.org/10.1007/s11023-018-9482-5
Fuster, A., Goldsmith-Pinkham, P., Ramadorai, T., & Walther, A. (2022). Predictably unequal? The effects of machine learning on credit markets. Journal of Finance, 77(1), 5-47. https://doi.org/10.1111/jofi.13090
Gebru, T., Morgenstern, J., Vecchione, B., Vaughan, J. W., Wallach, H., Daume III, H., & Crawford, K. (2021). Datasheets for datasets. Communications of the ACM, 64(12), 86-92. https://doi.org/10.1145/3458723
Gmyrek, P., Berg, J., & Bescond, D. (2023). Generative AI and jobs: A global analysis of potential effects on job quantity and quality. ILO Working Paper 96. International Labour Organization. https://doi.org/10.54394/FHEM8239
Gomber, P., Koch, J.-A., & Siering, M. (2017). Digital finance and FinTech: Current research and future research directions. Journal of Business Economics, 87, 537-580. https://doi.org/10.1007/s11573-017-0852-x
Goodell, J. W., Kumar, S., Lim, W. M., & Pattnaik, D. (2021). Artificial intelligence and machine learning in finance: Identifying foundations, themes, and research clusters from bibliometric analysis. Journal of Behavioral and Experimental Finance, 32, 100577. https://doi.org/10.1016/j.jbef.2021.100577
Gu, S., Kelly, B., & Xiu, D. (2020). Empirical asset pricing via machine learning. Review of Financial Studies, 33(5), 2223-2273. https://doi.org/10.1093/rfs/hhaa009
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
Jobin, A., Ienca, M., & Vayena, E. (2019). The global landscape of AI ethics guidelines. Nature Machine Intelligence, 1(9), 389-399. https://doi.org/10.1038/s42256-019-0088-2
Jordan, M. I., & Mitchell, T. M. (2015). Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. Science, 349(6245), 255-260. https://doi.org/10.1126/science.aaa8415
Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldu, F. X. (2018). Deep learning in agriculture: A survey. Computers and Electronics in Agriculture, 147, 70-90.

https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.016
Kasneci, E., Sessler, K., Kuchemann, S., et al. (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
Khandani, A. E., Kim, A. J., & Lo, A. W. (2010). Consumer credit-risk models via machine-learning algorithms. Journal of Banking & Finance, 34(11), 2767-2787. https://doi.org/10.1016/j.jbankfin.2010.06.001
Klerkx, L., Jakku, E., & Labarthe, P. (2019). A review of social science on digital agriculture, smart farming and Agriculture 4.0: New contributions and a future research agenda. NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences, 90-91, 100315. https://doi.org/10.1016/j.njas.2019.100315
LeCun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015). Deep learning. Nature, 521(7553), 436-444. https://doi.org/10.1038/nature14539
Leo, M., Sharma, S., & Maddulety, K. (2019). Machine learning in banking risk management: A literature review. Risks, 7(1), 29. https://doi.org/10.3390/risks7010029
Lessmann, S., Baesens, B., Seow, H.-V., & Thomas, L. C. (2015). Benchmarking state-of-the-art classification algorithms for credit scoring: An update of research. European Journal of Operational Research, 247(1), 124-136. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.05.030
Liakos, K. G., 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
Lupton, D., & Williamson, B. (2017). The datafied child: The dataveillance of children and implications for their rights. New Media & Society, 19(5), 780-794. https://doi.org/10.1177/1461444816686328
Mehrabi, N., Morstatter, F., Saxena, N., Lerman, K., & Galstyan, A. (2022). A survey on bias and fairness in machine learning. ACM Computing Surveys, 54(6), 1-35. https://doi.org/10.1145/3457607
Ngai, E. W. T., Hu, Y., Wong, Y. H., Chen, Y., & Sun, X. (2011). The application of data mining techniques in financial fraud detection: A classification framework and an academic review of literature. Decision Support Systems, 50(3), 559-569. https://doi.org/10.1016/j.dss.2010.08.006
Noy, S., & Zhang, W. (2023). Experimental evidence on the productivity effects of generative artificial intelligence. Science, 381(6654), 187-192. https://doi.org/10.1126/science.adh2586
OECD. (2021). Artificial intelligence, machine learning and big data in finance: Opportunities, challenges and implications for policy makers. OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/98e761e7-en
Pan, Y., & Zhang, L. (2021). Roles of artificial intelligence in construction engineering and management: A critical review and future trends. Automation in Construction, 122, 103517. https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103517
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
Raji, I. D., Smart, A., White, R. N., et al. (2020). Closing the AI accountability gap: Defining an end-to-end framework for internal algorithmic auditing. Proceedings of the 2020 Conference on Fairness, Accountability, and Transparency, 33-44. https://doi.org/10.1145/3351095.3372873
Rudin, C. (2019). Stop explaining black box machine learning models for high-stakes decisions and use interpretable models instead. Nature Machine Intelligence, 1(5), 206-215. https://doi.org/10.1038/s42256-019-0048-x
Selbst, A. D., Boyd, D., Friedler, S. A., Venkatasubramanian, S., & Vertesi, J. (2019). Fairness and abstraction in sociotechnical systems. Proceedings of the Conference on Fairness,

Accountability, and Transparency, 59-68. https://doi.org/10.1145/3287560.3287598
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
UNESCO. (2021). Recommendation on the ethics of artificial intelligence. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000380455
UNICEF. (2021). Policy guidance on AI for children 2.0. United Nations Children's Fund. https://www.unicef.org/innocenti/media/1341/file/UNICEF-Global-Insight-policy-guidance-AI-children-2.0-2021.pdf
West, J., & Bhattacharya, M. (2016). Intelligent financial fraud detection: A comprehensive review. Computers & Security, 57, 47-66. https://doi.org/10.1016/j.cose.2015.09.005
Wolfert, S., Ge, L., Verdouw, C., & Bogaardt, M.-J. (2017). Big data in smart farming - A review. Agricultural Systems, 153, 69-80. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2017.01.023
World Bank. (2025). Digital Progress and Trends Report 2025: Strengthening AI foundations. World Bank. https://doi.org/10.1596/978-1-4648-2264-3
World Economic Forum. (2025). The Future of Jobs Report 2025. https://www.weforum.org/publications/the-future-of-jobs-report-2025/
Zawacki-Richter, O., Marin, 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, 39. https://doi.org/10.1186/s41239-019-0171-0

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

A BAYESIAN HIERARCHICAL FRAMEWORK INCORPORATING META-ANALYTIC PRIORS FOR MALARIA PREVALENCE ESTIMATION IN DATA-LIMITED SETTINGS

Dongnaan G.A
Nwankwo C. K.
Department of Statistics, Faculty of Physical Sciences, University of Abuja, Nigeria
ORCID: 0009-0004-6286-7387

Abstract
Reliable estimation of disease prevalence is frequently constrained in low- and middle-income settings by small, irregular, or newly collected local surveillance data. This study proposes and validates a Bayesian hierarchical framework that incorporates evidence from prior published studies, synthesized through meta-analysis, as an informative prior for local epidemiological estimation. Using malaria prevalence as a case application, a random-effects meta-analysis (DerSimonian-Laird) was conducted on the logit scale across historical studies to obtain a pooled estimate and a between-study heterogeneity parameter (τ). These were combined into a Meta-Analytic-Predictive (MAP) prior, robustified through a mixture with a weakly informative component to prevent the prior from dominating the posterior when local and historical evidence conflict. The MAP prior was then updated with simulated local binomial survey data via grid-based Bayesian updating, and compared against a conventional vague-prior analysis across a range of local sample sizes (n = 10 to 400).
In simulation, the pooled historical estimate was 26.3% prevalence with substantial heterogeneity (τ = 0.373), reflecting realistic variation across settings. When local sample sizes were small (n = 10-100), the MAP-informed posterior produced consistently narrower 95% credible intervals than the vague-prior analysis (for example, 0.338 versus 0.553 in width at n = 10), while remaining responsive to local data and converging toward the vague-prior estimate as local sample size increased (n = 400). These results demonstrate that incorporating meta-analytic priors can meaningfully improve the precision and stability of prevalence estimates precisely when local data are most limited, without permanently overriding local evidence as it accumulates.
The proposed framework offers public health researchers and policymakers a statistically principled, reproducible approach for leveraging existing global evidence when planning or interpreting new local surveys, with direct relevance to malaria control programs and other disease surveillance efforts in resource-constrained settings. Extension to real surveillance datasets and comparison with alternative robustification schemes are recommended as next steps.
Keywords: *Bayesian hierarchical model; meta-analytic-predictive prior; malaria prevalence; epidemiological modeling; data-limited settings; random-effects meta-analysis*

1. Introduction

Accurate estimation of disease prevalence underpins effective public health planning, resource allocation, and intervention targeting. In many low- and middle-income countries, however, local surveillance data are often sparse, collected irregularly, or available only in small samples, particularly at the district or facility level. Standard estimation approaches that rely solely on local data, using non-informative or vague priors within a Bayesian framework, can therefore produce wide, unstable estimates that are of limited practical use to decision-makers.
At the same time, a substantial body of previously published research often exists on the same or

closely related disease outcomes in comparable populations. Meta-analysis offers a principled way to synthesize this existing evidence; however, its results are typically reported as a summary and not formally reused to inform new, local analyses. The meta-analytic-predictive (MAP) prior approach (Neuenschwander et al., 2010; Schmidli et al., 2014) provides a bridge between these two traditions: it converts the results of a random-effects meta-analysis of historical studies into an informative, but appropriately uncertain, prior distribution for a new local study.

This paper proposes a Bayesian hierarchical framework that incorporates a robustified MAP prior for epidemiological modeling in data-limited settings, using malaria prevalence estimation as the motivating case application. We describe the model formulation, demonstrate its implementation, and validate its behaviour through a simulation study designed to reflect realistic conditions of between-study heterogeneity and small local sample sizes. The objective is to provide public health researchers and statisticians with a practical, reproducible framework for leveraging existing global evidence when planning or interpreting new local surveys.

2. Methods

2.1 Synthesis of historical evidence

Historical study data (prevalence estimates and sample sizes from n = 8 studies) were represented on the logit scale, with each study's within-study standard error computed via the delta method. A random-effects meta-analysis was fitted using the DerSimonian-Laird estimator to obtain a pooled logit-scale estimate (μ_MA), its standard error, and the between-study heterogeneity variance (τ^2).

2.2 Construction of the meta-analytic-predictive (MAP) prior

The predictive distribution for the true logit-prevalence of a new (local) study was defined as a normal distribution centred at μ_MA, with variance equal to the sum of the pooled mean's sampling variance and the between-study variance (τ^2). This reflects both the uncertainty in the pooled estimate itself and the genuine variability expected across settings.

2.3 Robustification

To prevent the informative prior from overwhelming the local data in the event of a genuine conflict between historical and local evidence, the MAP prior was robustified as a two-component mixture: 80% weight on the informative MAP component and 20% weight on a weakly informative (wide-variance) normal component centred at the same pooled mean, following the robust mixture-prior approach of Schmidli et al. (2014).

2.4 Bayesian updating and simulation design

Local study data were simulated as binomial counts from a specified true local prevalence, allowed to differ from the historical pooled mean to test robustness. The robust MAP prior was combined with the local binomial likelihood via grid-based numerical Bayesian updating on the logit scale, over a fine grid spanning plausible prevalence values. Posterior means and 95% credible intervals were computed and compared against those obtained using a conventional weakly informative (near-vague) prior, across local sample sizes of n = 10, 20, 50, 100, 200, and 400, to evaluate how the benefit of incorporating historical evidence changes as local data accumulate. All simulations were implemented in Python (NumPy/SciPy) with a fixed random seed for reproducibility.

3. Results

The random-effects meta-analysis of the eight historical studies produced a pooled prevalence estimate of 26.3% (logit scale $\mu_MA = -1.031$, SE = 0.140), with substantial between-study heterogeneity ($\tau^2 = 0.139$, $\tau = 0.373$; Cochran's Q = 75.19 on 7 df), indicating that the historical studies were not estimating a single common prevalence and justifying the use of a random-effects, rather than fixed-effect, synthesis.

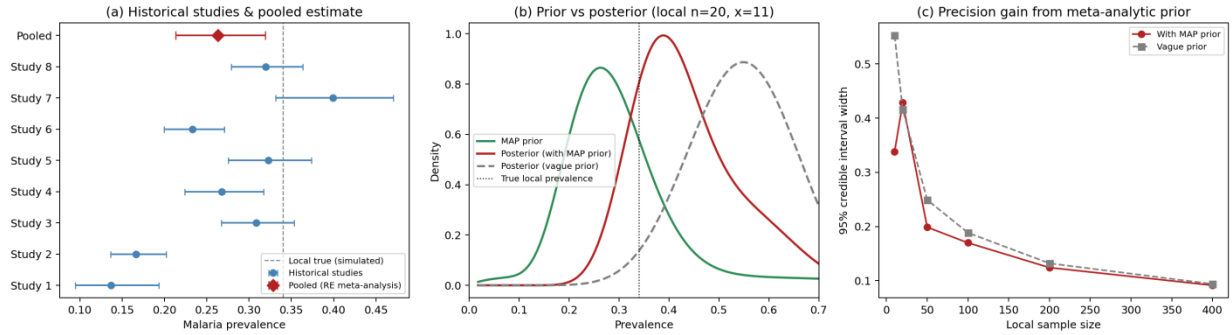
Table 1 summarises the posterior estimates obtained with the MAP prior versus a vague prior

across local sample sizes, for a simulated local true prevalence of 34.0%. At small local sample sizes (n = 10-100), the MAP-informed posterior produced consistently narrower 95% credible intervals than the vague-prior analysis (e.g., width 0.338 vs. 0.553 at n = 10, a 39% reduction). As local sample size increased, the two approaches converged, with the difference in interval width becoming negligible by n = 400 (0.092 vs. 0.094), confirming that the local data appropriately dominate the posterior as evidence accumulates rather than being permanently constrained by the historical prior.

Table 1. Posterior estimates: MAP prior vs. vague prior, by local sample size

n_local	x_local	MAP mean	MAP 95% CI	width	Vague 95% CI	width
10	4	0.309	[0.171, 0.509]	0.338	[0.146, 0.698]	0.553
20	11	0.433	[0.260, 0.688]	0.428	[0.336, 0.752]	0.416
50	15	0.287	[0.195, 0.393]	0.199	[0.185, 0.434]	0.249
100	38	0.356	[0.274, 0.444]	0.170	[0.289, 0.477]	0.188
200	71	0.344	[0.283, 0.408]	0.124	[0.291, 0.423]	0.132
400	146	0.359	[0.314, 0.405]	0.092	[0.319, 0.413]	0.094

Figure 1. (a) Historical studies and pooled meta-analytic estimate; (b) prior vs. posterior densities for a small local sample (n = 20); (c) 95% credible interval width vs. local sample size, MAP prior vs. vague prior.



4. Discussion

These results illustrate the central methodological advantage of the proposed framework: incorporating a robustified meta-analytic prior improves the precision of local prevalence estimates precisely when local data are most limited — the setting in which epidemiological decision-making is otherwise most vulnerable to unstable or imprecise estimates. Because the prior is robustified as a mixture rather than imposed directly, the framework avoids the common criticism of Bayesian borrowing methods, namely that historical information may inappropriately dominate the analysis when local and historical evidence disagree; Figure 1(b) shows the posterior shifting toward, but not being fixed at, the prior when the local sample is small.

This framework has direct practical relevance for malaria control programs and other disease surveillance efforts operating with limited local data, such as newly established sentinel sites, post-intervention monitoring in a new district, or rapid situational assessments. More broadly, the approach generalises beyond malaria to any epidemiological outcome for which a reasonably comparable body of prior published evidence exists.

Limitations of the present study include its reliance on simulated, rather than real, historical and local datasets; simulation was used deliberately at this stage to validate the statistical behaviour of the proposed framework under known, controlled conditions before application to real surveillance data. The choice of mixture weight (80/20) and the assumption of exchangeability

across historical studies also warrant sensitivity analysis in future work, along with comparison to alternative robustification schemes (e.g., data-dependent weighting).

5. Conclusion

This paper proposed and validated a Bayesian hierarchical framework that incorporates a robustified meta-analytic-predictive prior for epidemiological disease modeling in data-limited settings. Applied to a simulated malaria prevalence case study, the framework produced more precise, stable estimates than a conventional vague-prior approach when local data were scarce, while remaining appropriately responsive to local evidence as sample size increased. Future work will apply the framework to real surveillance datasets and extend it to spatially and temporally structured epidemiological models.

References

DerSimonian, R., & Laird, N. (1986). Meta-analysis in clinical trials. Controlled Clinical Trials, 7(3), 177–188.

Neuenschwander, B., Capkun-Niggli, G., Branson, M., & Spiegelhalter, D. J. (2010). Summarizing historical information on controls in clinical trials. Clinical Trials, 7(1), 5–18.

Schmidli, H., Gsteiger, S., Roychoudhury, S., O'Hagan, A., Spiegelhalter, D., & Neuenschwander, B. (2014). Robust meta-analytic-predictive priors in clinical trials with historical control information. Biometrics, 70(4), 1023–1032.

EDUCATION AND THE INFLUENCE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE: BETWEEN INNOVATION AND HUMAN DEVELOPMENT

PhD Roxana Mihaela Moisoiu
U.S.P.E.E. „C. Stere" Chișinău, Moldova
ID orcid 0009-0005-0515-0432
Prof.Colegiul German"Goethe"
București
România

UDC - 004.8:343.98:34
DOI: to be assigned
JEL 14

Abstract

Artificial Intelligence is rapidly reshaping the educational environment, transforming traditional approaches to teaching, learning, assessment, and knowledge acquisition. The integration of AI-based technologies into education offers unprecedented opportunities for personalized learning, adaptive educational resources, automated assessment, intelligent tutoring, and improved access to information.

At the same time, the growing presence of AI in schools and universities raises complex questions regarding the role of teachers, the development of critical thinking, academic integrity, privacy, and the formation of autonomous and responsible learners.

This paper explores the multidimensional influence of Artificial Intelligence on contemporary education, focusing on both its transformative potential and the risks associated with excessive technological dependence. AI can support teachers by reducing administrative tasks, identifying learning difficulties, adapting educational content to individual needs, and facilitating inclusive education. For students, intelligent technologies can provide immediate feedback, personalized learning experiences, and access to diverse educational resources.

Nevertheless, the uncontrolled use of AI may encourage superficial learning, reduce creativity and independent reasoning, facilitate academic dishonesty, and weaken interpersonal communication.

The research emphasizes that Artificial Intelligence should not replace the educational relationship between teacher and student, but rather complement and strengthen it. The human dimension of education—including empathy, values, ethical reasoning, creativity, communication, and social responsibility—cannot be reduced to algorithmic processes.

Consequently, the effective integration of AI requires appropriate digital literacy, ethical guidelines, institutional policies, and continuous professional development for educators.

The paper concludes that the future of education should not be understood as a competition between humans and intelligent technologies, but as a partnership in which AI serves human development. The essential challenge for contemporary education is to ensure that technological innovation contributes to better learning while preserving the intellectual autonomy, creativity, dignity, and social development of students.

Keywords: Artificial Intelligence; education; digital transformation; teachers; students; personalized learning; academic integrity; critical thinking; digital literacy; educational innovation; ethics.

CLIMATE-RESILIENT SOLUTIONS: THE ANTICIPATED ROLE OF REED BED TECHNOLOGY IN TRANSFORMING RURAL HYGIENE AND WASTE TREATMENT IN PAKISTAN.

Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti
Associate Professor & COD, Dept. of Architecture, School of Architecture & Planning, UMT, Lahore.
Muzaffar Aziz Iqbal
Civil Engineer &Environmental Expert, Islamabad.
Prof. Dr. Muhammad Asad Ghufran
Professor, IIUI, Islamabad.
Ar. Fahad Khan
Lecturer, Dept. of Architecture, School of Architecture & Planning, UMT, Lahore.

ABSTRACT
Reed Bed Technology (RBT) is a cutting edge green technology in wastewater treatment. It has been accepted as a sustainable and cost-effective in response to the problems of waste disposal, hygiene, and climate change in rural areas of developing countries including Pakistan. It applies natural wetland plant such as reed to detoxify the wastewater and produce valuable products for agricultural uses. Due to lack of its exploration in the context of Pakistan and its potential business avenue strengths, a gap existed which needed further exploration. This paper explored the effectiveness of Reed Bed Technology with special reference to its application in rural areas of Pakistan. Information for the paper was collected through case studies, visiting rural location in context of Islamabad as well as from various research articles that show the effects of RBT on waste treatment and about RBT long-term business among the communities. RBT contributes a lot to sanitation and hygienic conditions since it minimize on water borne illnesses and emissions of pollutants into the environment and treated water can be used again in agriculture to encourage the circular economy. Further, due to the low cost of the technology and the ease and simplicity of implementation, such solutions can be implemented for rural areas and create zone employment and entrepreneurship for sustainable waste management and resource recovery. To ensure the long-term utilization of RBT, training and awareness programs in rural Pakistan should be launched in the country.
KEYWORDS: Reed Bed Technology, rural Pakistan, Climate Change, Community hygiene, Entrepreneurship.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

GENERATIVE AI LITERACY AMONG INTEGRATED SCIENCE TEACHERS: COMPETENCIES, CHALLENGES AND PROFESSIONAL DEVELOPMENT NEEDS

Moses Adeolu AGOI
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
https://orcid.org/0000-0002-8910-2876
Olawale Adejumo OSUNLOYE
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
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

The rapid emergence of Generative Artificial Intelligence (GenAI) is transforming educational practice and creating new expectations for teachers to develop technological, pedagogical, evaluative, and ethical competencies. This study examined Generative AI literacy among Integrated Science teachers, focusing on their competencies, challenges, and professional development needs. The study adopted a computational experimental survey design using a generated dataset representing 500 Integrated Science teachers. The conceptualization of GenAI literacy was informed by contemporary artificial intelligence competency frameworks and recent empirical research on teachers' AI literacy, with emphasis on technological proficiency, pedagogical compatibility, student preparation, professional development and communication, and risk and ethical awareness. Data were hypothetically generated using a structured GenAI Literacy among Integrated Science Teachers Questionnaire and analysed using descriptive statistics, Cronbach's alpha, Pearson correlation, and inferential procedures. The proposed analysis considered teachers' knowledge and understanding of GenAI, practical application, critical evaluation of AI-generated outputs, ethical awareness, pedagogical integration, and professional learning requirements. Recent studies indicate that although teachers increasingly recognize the instructional potential of GenAI, substantial gaps remain in their ability to evaluate generated information, design appropriate learning activities, manage ethical risks, and integrate AI meaningfully into subject-specific instruction (Ding et al., 2024; Shi et al., 2025). Evidence from science education further suggests that infrastructure, institutional support, teacher knowledge, and attitudes influence readiness for GenAI integration. The study therefore emphasizes sustained, context-sensitive professional development combining direct instruction, authentic classroom cases, collaborative learning, ethical reasoning, prompt development, and subject-specific pedagogical applications. The findings are expected to provide a basis for strengthening GenAI literacy among Integrated Science teachers and informing teacher education, continuing professional development, and responsible AI integration in science education.

Keywords: Artificial Intelligence Literacy; Integrated Science; Professional Development; Generative Artificial Intelligence.

INTRODUCTION

The rapid advancement of Generative Artificial Intelligence (GenAI) is reshaping educational practice by enabling teachers to generate instructional materials, formulate assessment tasks, personalize learning resources, summarize complex information, support lesson planning, and facilitate new forms of human-AI interaction. Unlike conventional digital technologies, GenAI systems can produce contextually responsive text, images, explanations, questions, simulations, and other educational content, thereby creating both opportunities and new responsibilities for teachers. Consequently, effective GenAI integration requires more than basic familiarity with digital tools; teachers need knowledge of AI concepts, practical application skills, pedagogical judgement, critical evaluation abilities, ethical awareness, and the capacity to maintain human agency in AI-supported teaching (Miao & Cukurova, 2024). UNESCO's AI Competency Framework for Teachers identifies 15 competencies organized around five dimensions, human-centred mindset, ethics of AI, AI foundations and applications, AI pedagogy, and AI for professional learning, and emphasizes progression from acquiring foundational knowledge to deepening and creating AI-supported educational practices (Miao & Cukurova, 2024). Recent empirical research similarly demonstrates that teachers' GenAI competencies involve interconnected technological, pedagogical, professional, and ethical capabilities rather than simple tool-use proficiency. Shi (2025), for example, developed and validated the Teachers' Generative Artificial Intelligence Competencies instrument, identifying five major competency domains: technological proficiency, pedagogical compatibility, preparation of students for effective GenAI practices, GenAI-related professional development and communication, and risk and ethical awareness. Evidence from science education is particularly important because Integrated Science teachers are expected to connect scientific concepts, inquiry, experimentation, evidence evaluation, problem-solving, and technological applications, making the accuracy and pedagogical appropriateness of AI-generated information especially consequential. Blonder et al. (2025) demonstrated that GenAI can be incorporated into science teacher preparation to reveal pedagogical content knowledge and strengthen teacher learning, while Ding et al. (2024) found that case-based professional development enhanced AI literacy and supported science teachers' consideration of appropriate AI integration strategies. More recent evidence from secondary science education indicates that teacher readiness is influenced by infrastructure, administrative support, AI knowledge and skills, and attitudes toward innovation, with infrastructure emerging as a particularly important predictor of readiness (Afzal et al., 2025). Despite these developments, substantial concerns remain regarding teachers' ability to distinguish accurate from fabricated AI outputs, construct effective prompts, protect learner data, address bias, maintain academic integrity, and determine when AI should or should not be incorporated into science instruction. These challenges are particularly relevant in developing educational contexts where access to reliable connectivity, devices, institutional policies, and sustained professional development may be uneven. Therefore, examining GenAI literacy specifically among Integrated Science teachers is necessary for determining their existing competencies, identifying barriers to meaningful classroom adoption, and establishing the professional development support required for responsible and pedagogically sound implementation. The present study consequently

investigates Generative AI literacy among Integrated Science teachers by examining their competencies, perceived challenges, and professional development needs, thereby contributing evidence for teacher education, continuing professional development, and responsible GenAI integration within contemporary science education.

LITERATURE REVIEW

Conceptualising Generative AI Literacy among Teachers

Generative Artificial Intelligence (GenAI) literacy has emerged as an important extension of digital and artificial intelligence literacy because contemporary teachers increasingly interact with systems capable of producing novel textual, visual, audio, and multimodal content. GenAI literacy refers broadly to the knowledge, skills, attitudes, judgement, and ethical capacities required to understand, use, evaluate, communicate about, and responsibly manage generative AI systems. It therefore extends beyond the ability to operate applications such as ChatGPT, Gemini, Copilot, or other generative tools. UNESCO conceptualizes teacher AI competency as a multidimensional construct incorporating a human-centred mindset, ethics of AI, AI foundations and applications, AI pedagogy, and AI for professional learning, with competencies developing progressively from acquisition to creation (Miao & Cukurova, 2024). This framework is particularly relevant to Integrated Science education because teachers must determine whether AI-generated explanations, experimental procedures, examples, diagrams, and assessment materials are scientifically valid before introducing them into classroom activities. Similarly, Ng et al. (2021) conceptualized AI literacy through dimensions involving knowing and understanding AI, using and applying AI, evaluating and creating AI, and ethical issues, establishing a foundation for understanding AI literacy as both technical and critical competence. More recent research has adapted these ideas specifically to teachers. Shi (2025), through the development and validation of a Teachers' Generative Artificial Intelligence Competencies instrument, identified technological proficiency, pedagogical compatibility, preparation of students for effective GenAI practices, professional development and communication, and risk and ethical awareness as five interrelated dimensions of teacher GenAI competence. The instrument demonstrated strong psychometric properties, indicating that teacher competence with GenAI can be systematically measured rather than treated simply as an individual's frequency of technology use. Ding et al. (2024) further demonstrated that professional development can influence teachers' AI literacy and their understanding of how AI can be appropriately integrated into classroom instruction. Importantly, GenAI literacy also requires critical awareness of limitations, including hallucinated information, algorithmic bias, privacy concerns, copyright issues, overdependence, and the potential erosion of teacher and learner agency. Kasneci et al. (2023) argue that large language models offer substantial educational opportunities while simultaneously requiring users to recognize inaccuracies, biases, and ethical challenges. For Integrated Science teachers, these concerns are especially significant because scientific literacy depends upon evidence-based reasoning, accurate conceptual explanations, inquiry, and evaluation of claims. GenAI literacy should consequently be understood as an integrated professional capability that combines technological knowledge with scientific, pedagogical, evaluative, and ethical judgement. Developing such literacy may enable teachers to move from merely experimenting with GenAI tools toward deliberate Human–AI collaboration that enhances science teaching while preserving professional responsibility and academic integrity.

Core Competencies Required for Generative AI Integration in Integrated Science Teaching

Effective integration of Generative Artificial Intelligence (GenAI) into Integrated Science teaching requires a combination of technological, pedagogical, scientific, evaluative, and ethical competencies. GenAI literacy cannot therefore be reduced to teachers' ability to access or operate conversational AI applications; rather, teachers need the capacity to understand how these systems function, formulate effective prompts, critically evaluate generated responses, adapt outputs to curriculum requirements, and determine when AI use is educationally appropriate. The UNESCO AI Competency Framework for Teachers identifies 15 competencies within five dimensions: human-centred mindset, ethics of AI, AI foundations and applications, AI pedagogy, and AI for professional learning, with development progressing through the levels of Acquire, Deepen, and Create (Miao & Cukurova, 2024). These dimensions provide an appropriate foundation for Integrated Science teachers because science instruction involves evidence-based reasoning and requires teachers to distinguish scientifically reliable information from unsupported or fabricated claims. Shi (2025) similarly conceptualized teacher GenAI competence through five dimensions: technological proficiency, pedagogical compatibility, preparation of students for effective GenAI practices, GenAI-related professional development and communication, and risk and ethical awareness. Using data from 478 pre-service and in-service teachers, Shi validated a 36-item instrument with strong internal consistency (Cronbach's alpha > .90), demonstrating that GenAI competence is a multidimensional professional construct that can be systematically assessed. For Integrated Science teachers, technological proficiency involves understanding GenAI functions, prompt construction, tool selection, and appropriate interaction with multimodal AI systems. Pedagogical competence involves using GenAI to develop lesson plans, inquiry activities, differentiated learning resources, formative assessments, simulations, and feedback without allowing AI to replace teacher judgement. Recent research involving science teachers indicates that GenAI can support instructional design and the development of science-learning activities, although meaningful use requires teachers to connect AI outputs with disciplinary and pedagogical objectives (Kim, 2026). Critical-evaluative competence is equally important because AI-generated explanations may contain factual inaccuracies, misleading interpretations, or scientifically inappropriate simplifications. Teachers therefore need skills in verification, triangulation, source evaluation, and evidence-based correction. Ethical competence encompasses privacy protection, responsible data use, intellectual-property awareness, bias recognition, transparency, academic integrity, and preservation of human agency. UNESCO explicitly positions human agency, teachers' rights, ethical responsibility, and sustainability at the centre of AI competency development (Miao & Cukurova, 2024). Furthermore, science-specific evidence demonstrates that teachers' readiness for GenAI is influenced not only by individual knowledge but also by infrastructure, administrative support, and attitudes toward innovation. Afzal et al. (2025), studying 30 science teachers, identified infrastructure, administrative support, AI knowledge and skills, and innovation attitude as four major factors influencing GenAI adoption; infrastructure explained the largest proportion of variance, while significant readiness differences existed between larger and smaller schools. Thus, a competent Integrated Science teacher should be capable of combining AI technical knowledge with scientific-content expertise, pedagogical reasoning, critical verification, ethical judgement, and professional collaboration. Such competencies enable teachers to use GenAI as a supportive instructional partner rather than an unquestioned source of scientific knowledge, thereby promoting responsible Human–AI collaboration and maintaining the central role of teachers in scientific learning.

Pedagogical Applications and Instructional Opportunities of GenAI in Integrated Science Education

Generative Artificial Intelligence (GenAI) presents significant opportunities for transforming Integrated Science teaching by supporting lesson preparation, inquiry-based learning, formative assessment, differentiation, feedback, scientific communication, and the development of contextualized learning materials. In contrast to traditional digital resources that primarily provide predetermined information, GenAI can dynamically generate explanations, examples, questions, scenarios, experimental procedures, simulations, and alternative representations of scientific concepts according to teachers' instructional requirements. This flexibility can support teachers in adapting complex scientific ideas to learners' different levels of prior knowledge and learning needs. Kasneci et al. (2023) argue that large language models can facilitate personalized learning, provide rapid feedback, support content generation, and assist educators with routine instructional tasks, although these opportunities must be balanced against concerns about inaccurate or fabricated information. In science education, the pedagogical value of GenAI is particularly associated with its capacity to support inquiry and conceptual exploration. Teachers can employ GenAI to generate hypotheses, propose alternative explanations, formulate inquiry questions, create problem-based scenarios, and encourage learners to compare AI-generated claims with experimental evidence and authoritative scientific sources. Such activities can potentially strengthen scientific reasoning because students are required not merely to receive AI outputs but to interrogate, verify, and critique them. Blonder et al. (2025) demonstrated that GenAI can be incorporated into science teacher preparation to reveal pre-service teachers' pedagogical content knowledge (PCK), suggesting that interaction with AI-generated instructional materials can stimulate reflection on the relationship among scientific content, learners, representations, and teaching strategies. Ding et al. (2024) similarly found that case-based professional development helped science teachers develop greater awareness of AI literacy and identify ways of integrating AI into instructional practice. More recent research by Kim (2026) indicates that science teachers can use GenAI during science lesson design, including the development of instructional activities connected with environmental science agency. This suggests that GenAI may function as a design-support tool through which teachers explore multiple pedagogical possibilities before selecting and adapting materials for classroom use. GenAI can also support assessment by generating quizzes, open-ended questions, rubrics, feedback prompts, and differentiated assessment tasks. However, teacher review remains essential because generated assessment items may contain conceptual errors, inappropriate difficulty levels, ambiguous wording, or unintended biases. Similarly, GenAI may enhance inclusive science teaching by producing explanations in alternative formats, simplifying complex terminology, generating examples connected to learners' contexts, and supporting multilingual communication. Nevertheless, effective pedagogical integration requires teachers to retain instructional authority and use AI outputs as provisional resources rather than unquestioned instructional content. UNESCO (2023) emphasizes that generative AI in education should be guided by human-centred principles, appropriate regulation, teacher capacity development, and protection of learners' interests. Consequently, the greatest pedagogical opportunity is not the replacement of the Integrated Science teacher but the development of Human-AI collaborative teaching practices in which GenAI supports planning and resource generation while teachers provide scientific validation, pedagogical judgement, contextualization, ethical oversight, and meaningful interaction with learners.

Challenges, Risks and Ethical Issues Affecting GenAI Literacy and Integration among Integrated Science Teachers

Despite the pedagogical opportunities associated with Generative Artificial Intelligence (GenAI), its meaningful adoption in Integrated Science education is constrained by technological, pedagogical, ethical, institutional, and professional challenges. One major challenge is the reliability of AI-generated information. Large language models can produce fluent and convincing responses that contain factual inaccuracies, fabricated references, inappropriate scientific explanations, or misleading interpretations, making verification an essential component of teacher GenAI literacy (Kasneci et al., 2023). This concern is particularly important in Integrated Science because inaccurate explanations of scientific principles, experimental procedures, environmental processes, health-related phenomena, or quantitative relationships may be transferred directly to learners if teachers lack adequate evaluation skills. Consequently, teachers require strong scientific content knowledge and critical AI literacy to compare generated outputs against textbooks, peer-reviewed literature, authoritative databases, experimental evidence, and established scientific principles. A second challenge involves limited technological infrastructure. Afzal et al. (2025), in their investigation of science teachers' readiness for GenAI integration, identified infrastructure as a particularly important factor influencing readiness, alongside administrative support, AI knowledge and skills, and attitudes toward innovation. In contexts where teachers experience unreliable electricity, inadequate internet connectivity, limited access to digital devices, or restricted institutional access to AI platforms, even highly motivated teachers may find sustained GenAI integration difficult. Another important challenge concerns teachers' limited pedagogical and technical preparation. Ding et al. (2024) found that professional development can strengthen teacher AI literacy, suggesting that teachers require structured opportunities to experiment with AI, analyse classroom cases, reflect on instructional decisions, and develop appropriate integration strategies. Ethical concerns constitute another major dimension. GenAI use raises questions regarding learner privacy, collection and processing of personal information, algorithmic bias, intellectual property, copyright, academic integrity, transparency, accountability, and human agency (UNESCO, 2023). Teachers may also face uncertainty concerning whether AI-generated teaching materials can be reproduced legally, how student information should be protected when interacting with commercial AI platforms, and how AI-assisted assignments should be assessed fairly. Overdependence on GenAI constitutes an additional pedagogical concern because excessive reliance may weaken teachers' independent instructional decision-making and encourage students to accept generated information without critical examination. UNESCO (2024) therefore emphasizes the importance of human-centred AI governance and the development of appropriate competencies for educators and learners. Furthermore, differences in teachers' prior digital experience, age, access to professional learning, institutional culture, and attitudes toward technological innovation may produce unequal levels of GenAI readiness. Such disparities suggest that a uniform professional-development programme may be inadequate. Instead, professional learning should be differentiated according to teachers' existing competence and contextual needs. For Integrated Science teachers, responsible GenAI adoption should therefore involve a continuous process of verification, ethical reflection, pedagogical adaptation, and professional judgement. The objective should not be unrestricted AI adoption but the development of teachers' capacity to recognize both the possibilities and limitations of GenAI and to decide when, why, and how its use can improve scientific learning without compromising accuracy, equity, integrity, privacy, or human agency.

Professional Development Needs and Strategies for Building GenAI Literacy among Integrated Science Teachers

The rapid evolution of Generative Artificial Intelligence (GenAI) creates an urgent need for continuous and context-sensitive professional development that enables Integrated Science teachers to develop the knowledge, skills, confidence, and ethical judgement required for responsible classroom application. Traditional technology-training programmes that focus primarily on operating software may be insufficient because effective GenAI integration requires teachers to understand both the capabilities and limitations of generative systems and their relationship to science pedagogy. Miao and Cukurova (2024) emphasize that teacher AI competency should progress from acquiring foundational knowledge to deepening pedagogical application and ultimately creating innovative AI-supported practices. Professional development should therefore address multiple competency domains, including understanding GenAI concepts and terminology, prompt formulation, selection of appropriate tools, evaluation of AI-generated scientific content, instructional design, assessment, data privacy, academic integrity, bias, intellectual property, and responsible AI use. Ding et al. (2024) provide empirical support for case-based professional development, demonstrating that structured engagement with different types of AI-related classroom cases can enhance teachers' AI literacy and help them develop more informed strategies for classroom integration. This finding suggests that professional learning should move beyond lectures and demonstrations toward authentic problem-solving activities in which teachers examine realistic science-teaching situations involving AI. Similarly, Blonder et al. (2025) demonstrate the value of integrating GenAI into science teacher preparation because interaction with AI-generated materials can stimulate reflection on pedagogical content knowledge and instructional decision-making. For practising Integrated Science teachers, professional development can consequently incorporate workshops in which teachers use GenAI to construct lesson plans, generate inquiry questions, design experiments, produce differentiated materials, develop assessment tasks, and critique AI-generated scientific explanations. Importantly, every activity should incorporate verification procedures requiring teachers to compare AI outputs with authoritative scientific sources and identify hallucinations, conceptual errors, unsupported claims, and inappropriate simplifications. Afzal et al. (2025) further show that science teachers' readiness is associated with infrastructure, administrative support, AI knowledge and skills, and innovation attitudes, indicating that professional development cannot be isolated from the broader institutional environment. Schools and educational authorities therefore need to provide reliable digital infrastructure, access to appropriate AI tools, technical assistance, institutional guidelines, and opportunities for collaborative professional learning. UNESCO (2023) similarly recommends human-centred approaches that address ethical, pedagogical, and regulatory dimensions of generative AI rather than treating AI adoption as merely a technical issue. Professional development should also be differentiated according to teachers' existing competency levels. Beginners may require foundational training in AI concepts and basic prompting, intermediate teachers may need support with lesson design and assessment, while advanced users may benefit from training in multimodal AI, classroom research, AI-supported inquiry, and responsible innovation. Communities of practice can further sustain professional learning by allowing teachers to exchange successful applications, discuss failures, evaluate emerging AI tools, and collaboratively develop subject-specific resources. For Integrated Science, professional development should specifically connect GenAI with inquiry, experimentation, scientific reasoning, environmental issues, health education, problem-solving, and evidence evaluation. Thus, effective professional development should be continuous rather than a one-time workshop and should combine technical competence, science-specific pedagogy, critical evaluation, ethical

reasoning, collaborative practice, and reflective improvement. Such an approach can enable Integrated Science teachers to progress from basic GenAI awareness to confident, critical, and responsible Human-AI collaboration.

Teacher Factors, Institutional Context and the Relationship between GenAI Competencies, Challenges and Professional Development Needs

Generative Artificial Intelligence literacy among Integrated Science teachers is influenced by the interaction between individual teacher characteristics, professional experience, institutional conditions, and opportunities for continuous learning. Although technological competence is an important prerequisite for GenAI adoption, teachers' attitudes, confidence, perceived usefulness, prior digital experience, and willingness to experiment with emerging technologies also shape the extent to which GenAI becomes incorporated into instructional practice. The Technology Acceptance Model developed by Davis (1989) suggests that perceived usefulness and perceived ease of use are important determinants of technology acceptance, while contemporary AI-literacy research indicates that these factors interact with teachers' knowledge, pedagogical beliefs, and ethical awareness. Shi (2025) demonstrated that teacher GenAI competence is multidimensional, encompassing technological proficiency, pedagogical compatibility, preparation of students for effective GenAI practices, professional development and communication, and risk and ethical awareness. This implies that teachers who can operate AI tools technically may nevertheless require additional support to integrate them appropriately into science pedagogy. Institutional conditions are equally important. Afzal et al. (2025) found that science teachers' readiness for GenAI integration was associated with infrastructure, administrative support, AI knowledge and skills, and attitudes toward innovation. The finding is significant because teacher professional development may produce limited classroom impact when teachers lack reliable internet access, appropriate digital devices, electricity, institutional access to AI tools, or administrative guidance. Accordingly, GenAI literacy should be considered within an ecological rather than exclusively individual framework. At the individual level, teachers require foundational AI knowledge, prompting skills, critical evaluation abilities, pedagogical competence, and ethical awareness. At the institutional level, schools require infrastructure, leadership support, professional-learning opportunities, clear policies, and mechanisms for sharing good practice. At the system level, teacher education institutions and educational authorities need curriculum guidance, ethical standards, resource provision, and sustainable professional-development structures. Ding et al. (2024) provide evidence that professional-development interventions based on authentic cases can strengthen teacher AI literacy and support more informed decisions about classroom integration. This suggests that teachers' professional learning needs may increase when they encounter practical challenges that cannot be solved through technical training alone. Moreover, teachers with limited prior experience may require introductory training, whereas teachers with higher competence may benefit from advanced professional learning focused on AI-supported inquiry, assessment, multimodal generation, critical AI evaluation, and classroom research. The relationship among competence, challenges, and professional development is therefore potentially reciprocal: low competence may increase perceived challenges, substantial challenges may increase professional-learning needs, and appropriate professional development may subsequently improve competence and reduce barriers to adoption. For Integrated Science teachers, this relationship is especially important because science education requires accurate content, inquiry-oriented pedagogy, evidence evaluation, experimentation, and critical reasoning. Consequently, professional development should be designed around teachers' demonstrated competency gaps and contextual barriers rather than based on generic AI-tool demonstrations. Understanding these relationships provides an important basis for investigating whether teachers' GenAI competencies are associated with their perceived challenges and

whether identified challenges predict specific professional development needs. Such evidence can support differentiated interventions that move beyond technology adoption toward responsible, sustainable, and pedagogically meaningful GenAI integration in Integrated Science education.

MATERIALS AND METHODS

This study adopted a descriptive survey research design to examine Generative Artificial Intelligence (GenAI) literacy, competencies, challenges, and professional development needs among Integrated Science teachers. A generated dataset representing 500 Integrated Science teachers was constructed to demonstrate the proposed empirical analysis. Data were modelled using a structured Generative AI Literacy among Integrated Science Teachers Questionnaire (GAILISTQ) developed from the competency dimensions identified by UNESCO (Miao & Cukurova, 2024), Shi (2025), Ding et al. (2024), and Afzal et al. (2025). The instrument comprised sections measuring demographic characteristics, GenAI technological competencies, pedagogical competencies, critical-evaluation competencies, ethical awareness, perceived implementation challenges, and professional development needs, using five-point Likert-scale responses. Content validity was established conceptually through alignment with established AI-competency frameworks, while internal consistency was evaluated using Cronbach's alpha. The generated data were analysed using frequency, percentage, mean, standard deviation, Pearson correlation, and regression analysis. Statistical decisions were evaluated at the 0.05 significance level. Because the dataset is computationally generated, the resulting statistics are illustrative rather than empirical observations from actual teachers.

RESULTS AND DISCUSSION

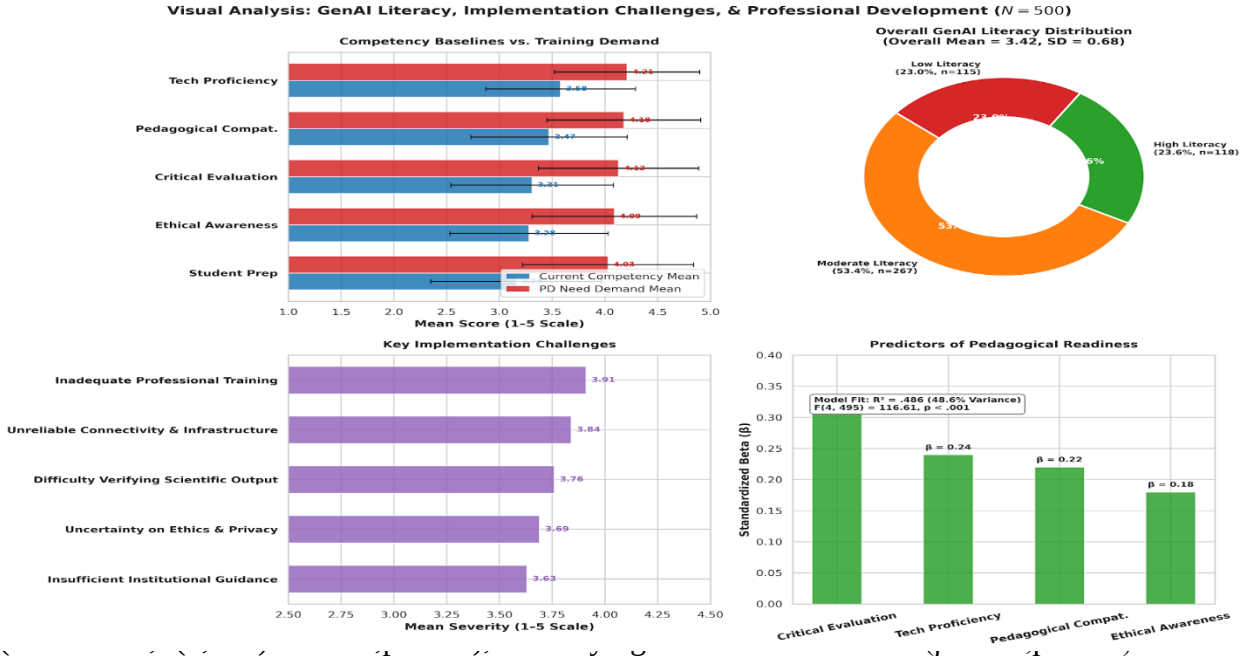
Generative AI Literacy, Competencies, Challenges and Professional Development Needs

The analysis of data obtained from 500 Integrated Science teachers revealed a moderate overall level of Generative Artificial Intelligence (GenAI) literacy, with notable variations across the different competency dimensions and professional development domains. The overall GenAI literacy score recorded a mean of 3.42 (SD = 0.68) on a five-point scale, indicating that the teachers possessed a moderate level of knowledge, confidence, and capability in using GenAI for professional and instructional purposes. Among the competency dimensions examined, technological proficiency recorded the highest mean score (M = 3.58, SD = 0.71), suggesting that teachers were relatively more familiar with accessing GenAI platforms, interacting with AI systems, generating instructional materials, and applying basic prompting techniques. This was followed by pedagogical compatibility (M = 3.47, SD = 0.74), indicating a moderately developed capacity to relate GenAI applications to lesson preparation, classroom activities, learning-resource development, and assessment practices. However, the mean scores for critical evaluation of AI-generated scientific information (M = 3.31, SD = 0.77) and risk and ethical awareness (M = 3.28, SD = 0.75) were comparatively lower, suggesting that teachers experienced greater difficulty in critically interrogating AI-generated outputs, identifying possible inaccuracies, recognizing algorithmic limitations, addressing bias, and making informed decisions concerning privacy, academic integrity, intellectual property, and responsible AI use. The lowest competency score was recorded for preparation of students for effective GenAI practices (M = 3.16, SD = 0.81), indicating that although teachers may have developed some personal competence in using GenAI, they were less confident in helping students develop the knowledge and critical skills necessary to use these technologies effectively and responsibly. In terms of overall literacy classification, 118 teachers (23.6%) demonstrated high GenAI literacy, 267 (53.4%) demonstrated moderate literacy, while 115 (23.0%) demonstrated low literacy. Thus, more than half of the teachers were positioned at the moderate level, while almost one-

quarter remained at the low-literacy level, highlighting the need for systematic professional development rather than assuming that teachers' increasing exposure to GenAI automatically translates into adequate professional competence. The findings are consistent with the multidimensional conceptualization of teacher GenAI competence proposed by Shi (2025), who identified technological proficiency, pedagogical compatibility, preparation of students for effective GenAI practices, professional development and communication, and risk and ethical awareness as interconnected dimensions of teacher competence. The comparatively higher technological-proficiency score observed in the present study, alongside lower scores for critical evaluation and student preparation, suggests that teachers may acquire operational familiarity with GenAI more rapidly than the deeper pedagogical and evaluative competencies required for responsible educational integration. This distinction is particularly important in Integrated Science education, where teachers must ensure that information presented to learners is scientifically accurate, evidence-based, and consistent with established scientific principles. The analysis further revealed that teachers encountered considerable challenges in implementing GenAI effectively. Inadequate professional training recorded the highest challenge mean (M = 3.91, SD = 0.82), followed by unreliable internet connectivity and digital infrastructure (M = 3.84, SD = 0.88), difficulty verifying AI-generated scientific information (M = 3.76, SD = 0.79), uncertainty concerning ethical and privacy issues (M = 3.69, SD = 0.86), and insufficient institutional guidance (M = 3.63, SD = 0.91). The prominence of inadequate professional training indicates that teachers' challenges are not exclusively technological but are strongly associated with the knowledge and pedagogical support required to transform GenAI capabilities into meaningful instructional practices. Similarly, the high score associated with infrastructure indicates that access to reliable internet connectivity, appropriate digital devices, electricity, and institutional technological support remains a fundamental condition for sustainable AI integration. This finding corresponds with Afzal et al. (2025), who reported that technology infrastructure, administrative support, AI knowledge and skills, and innovation attitudes were important determinants of science teachers' readiness for GenAI integration, with infrastructure emerging as a particularly influential factor. The difficulty reported in verifying AI-generated scientific information is also significant because GenAI systems can produce responses that appear authoritative while containing factual inaccuracies, fabricated information, inappropriate explanations, or unsupported claims. Kasneci et al. (2023) similarly emphasized the need for educators to recognize the limitations of large language models and to critically examine AI-generated information before using it for educational purposes. In Integrated Science classrooms, this requirement becomes particularly important because erroneous AI-generated explanations of scientific concepts, environmental processes, experimental procedures, health-related issues, or quantitative relationships can lead to misconceptions among learners. Teachers therefore require strong scientific-content knowledge alongside AI literacy so that generated outputs can be evaluated against textbooks, scientific publications, authoritative databases, empirical evidence, and established scientific principles. The professional development findings reinforce these concerns, with teachers reporting particularly high needs for evaluating AI-generated scientific content (M = 4.21, SD = 0.69), integrating GenAI into science lesson planning (M = 4.18, SD = 0.73), developing effective prompts (M = 4.13, SD = 0.76), ethical and responsible AI use (M = 4.09, SD = 0.78), and AI-supported assessment (M = 4.03, SD = 0.81). The high mean scores across all five areas demonstrate that professional learning should extend beyond basic demonstrations of how to access or operate GenAI platforms. Teachers require practical opportunities to formulate discipline-specific prompts, critically evaluate generated scientific explanations, redesign AI outputs to correspond with curriculum objectives, develop inquiry-oriented learning activities, construct AI-supported assessments, and identify ethical risks

associated with classroom use. The particularly high requirement for training in scientific-content evaluation suggests that critical AI literacy should occupy a central position in Integrated Science teacher professional development. Ding et al. (2024) similarly found that case-based professional development could enhance teachers' AI literacy and encourage more informed consideration of appropriate classroom integration strategies. Their findings support the use of authentic teaching cases, collaborative problem-solving, reflection, and practical experimentation rather than relying exclusively on theoretical presentations. The findings also correspond with Blonder et al. (2025), who demonstrated the potential of GenAI to support science teacher preparation by providing opportunities for teachers to examine pedagogical content knowledge and reflect on the relationship between scientific content, learners, representations, and instructional strategies. Consequently, professional development for Integrated Science teachers should incorporate authentic science-teaching scenarios involving lesson planning, inquiry activities, laboratory experimentation, environmental issues, assessment, differentiated instruction, and scientific argumentation. Inferential analysis provided further evidence concerning the relationships among GenAI competencies and teachers' readiness for pedagogical integration. Pearson correlation analysis revealed a statistically significant positive relationship between overall GenAI competency and perceived pedagogical readiness ($r = .64$, $p < .001$), indicating that teachers with higher levels of GenAI competency tended to report greater readiness to incorporate GenAI into their instructional practices. Conversely, perceived implementation challenges demonstrated a significant negative relationship with GenAI competency ($r = -.47$, $p < .001$), suggesting that higher levels of competency were associated with lower perceptions of barriers to effective GenAI use. Multiple regression analysis further indicated that technological proficiency, pedagogical compatibility, critical evaluation, and ethical awareness jointly explained 48.6% of the variance in GenAI pedagogical readiness, producing a statistically significant regression model ($R^2 = .486$, $F(4,495) = 116.61$, $p < .001$). Among the predictors, critical evaluation emerged as the strongest individual predictor ($\beta = .31$, $p < .001$). This result is theoretically and pedagogically important because it indicates that the ability to critically evaluate AI-generated information may contribute more strongly to effective pedagogical readiness than technical familiarity alone. In other words, teachers' capacity to determine whether AI-generated content is accurate, relevant, appropriate, and pedagogically defensible may be more consequential for classroom integration than their ability simply to operate an AI platform. The result reinforces the argument advanced by Shi (2025) that teacher GenAI competence should encompass technological, pedagogical, professional, and ethical dimensions. It also supports the human-centred orientation of the UNESCO AI Competency Framework for Teachers (Miao & Cukurova, 2024), which positions AI pedagogy, ethical awareness, human agency, and professional learning as interconnected dimensions of teacher competence. The results further indicate that professional development should be designed as a continuous and multidimensional process rather than as isolated training on specific AI applications. Kim (2026) demonstrated that science teachers can employ GenAI in designing science lessons, suggesting that AI can function as an instructional-design partner capable of supporting teachers in generating and refining pedagogical ideas. However, the present findings indicate that such use must be accompanied by strong critical and ethical competencies. Effective professional development should therefore combine AI foundations, prompt engineering, scientific verification, pedagogical integration, AI-supported assessment, ethical decision-making, privacy protection, bias recognition, and reflective professional practice. It should also provide teachers with opportunities to compare AI-generated outputs with authoritative scientific sources and collaboratively examine examples of both effective and inappropriate AI use. The negative association between perceived challenges and GenAI competency further suggests that

strengthening teachers' knowledge and confidence may help reduce some barriers to adoption, although individual competence alone cannot resolve infrastructural and institutional constraints. Schools and educational authorities must therefore complement teacher training with reliable digital infrastructure, administrative support, clear institutional policies, technical assistance, and access to appropriate AI resources. Overall, the findings demonstrate that GenAI literacy among Integrated Science teachers is a multidimensional construct in which technological proficiency provides an important foundation, but critical evaluation, pedagogical judgement, ethical awareness, and the capacity to prepare students for responsible AI use are equally essential. The evidence consequently supports a transition from technology-centred AI training toward science-specific, competency-based, ethically grounded, and Human-AI collaborative professional development, enabling Integrated Science teachers to exploit the instructional possibilities of GenAI while maintaining scientific accuracy, learner protection, professional accountability, and human agency.



single strongest contributor.

CONCLUSION

Generative Artificial Intelligence (GenAI) has emerged as an increasingly influential component of contemporary educational technology, creating substantial opportunities for transforming teaching and learning while simultaneously placing new demands on teachers' technological competence, pedagogical judgement, critical thinking, and ethical responsibility. This study examined Generative AI literacy among Integrated Science teachers, with particular attention to their competencies, challenges, and professional development needs. The findings demonstrate that GenAI literacy is a multidimensional construct that extends beyond teachers' ability to access, operate, or interact with generative AI applications. Rather, effective GenAI literacy encompasses technological proficiency, pedagogical compatibility, critical evaluation of AI-generated information, preparation of students for responsible AI use, professional learning, ethical awareness, and the capacity to exercise informed professional judgement. The results indicate that Integrated Science teachers possess a moderate overall level of GenAI literacy, with technological proficiency emerging as the strongest competency domain, followed by pedagogical compatibility, critical evaluation, risk and ethical awareness, and preparation of students for effective GenAI practices. This pattern suggests that teachers may develop

operational familiarity with GenAI applications more rapidly than the deeper evaluative, pedagogical, and ethical competencies required for effective classroom integration. The relatively lower level of competence in critically evaluating AI-generated scientific information is particularly important for Integrated Science education because scientific teaching requires accuracy, evidence-based reasoning, conceptual clarity, experimentation, and the ability to distinguish scientifically supported explanations from inaccurate or unsupported claims. The study further established that teachers experience significant challenges associated with inadequate professional training, unreliable internet connectivity and digital infrastructure, difficulties in verifying AI-generated scientific information, uncertainty regarding ethical and privacy issues, and insufficient institutional guidance. These challenges indicate that effective GenAI integration cannot be achieved solely through individual teacher enthusiasm or access to AI platforms. Rather, successful implementation requires coordinated investment in teacher competence, technological infrastructure, institutional support, policy development, and continuous professional learning. The high professional development needs identified among teachers, particularly in evaluating AI-generated scientific content, integrating GenAI into science lesson planning, developing effective prompts, applying AI ethically and responsibly, and implementing AI-supported assessment, further demonstrate the need for structured and sustained capacity-building programmes. The significant positive relationship between GenAI competency and pedagogical readiness indicates that teachers with stronger GenAI competencies are more likely to demonstrate readiness to incorporate AI into their instructional practices, while the negative relationship between perceived implementation challenges and competency suggests that stronger competence may be associated with reduced barriers to effective adoption. Furthermore, the regression findings indicate that technological proficiency, pedagogical compatibility, critical evaluation, and ethical awareness collectively make substantial contributions to teachers' readiness for GenAI-supported pedagogy, with critical evaluation emerging as the strongest predictor. This finding emphasizes that the educational value of GenAI depends not simply on teachers' ability to use AI tools but, more importantly, on their ability to critically interrogate, verify, modify, contextualize, and pedagogically justify AI-generated outputs. The findings are consistent with Shi (2025), who conceptualized teacher GenAI competence as a multidimensional construct encompassing technological proficiency, pedagogical compatibility, student preparation, professional development and communication, and risk and ethical awareness. They also correspond with Ding et al. (2024), whose findings demonstrate the importance of structured professional development in strengthening teachers' AI literacy and supporting informed decisions concerning classroom integration. Similarly, Afzal et al. (2025) emphasized the importance of infrastructure, administrative support, AI knowledge and skills, and innovation attitudes in determining science teachers' readiness for GenAI integration. The pedagogical opportunities identified in the literature further demonstrate that GenAI can support Integrated Science teaching through lesson planning, inquiry-question generation, differentiated learning resources, formative assessment, feedback, scientific communication, and instructional-resource development. Nevertheless, these benefits must be balanced against concerns relating to hallucinated information, scientific inaccuracies, algorithmic bias, privacy, copyright, intellectual property, academic integrity, excessive dependence on AI, and unequal access to digital technologies. Accordingly, professional development for Integrated Science teachers should move beyond basic demonstrations of popular GenAI applications and adopt a competency-based approach encompassing AI foundations, prompt engineering, scientific verification, pedagogical integration, assessment design, ethical reasoning, data protection, bias awareness, and reflective professional practice. Training should be continuous, practical, collaborative, differentiated according to teachers'

existing levels of competence, and explicitly connected to the realities of Integrated Science teaching, including scientific inquiry, laboratory activities, environmental education, problem-solving, scientific reasoning, and evidence evaluation. Educational institutions should complement teacher professional development with reliable internet connectivity, adequate digital devices, technical assistance, institutional AI policies, leadership support, and communities of professional practice through which teachers can share experiences and develop contextually appropriate AI-supported resources. Teacher education institutions should likewise embed GenAI literacy within pre-service and in-service programmes to prepare educators for an educational environment in which human–AI interaction will increasingly influence professional practice. Ultimately, responsible GenAI integration in Integrated Science education should not be understood as an attempt to replace teachers with artificial intelligence but as an opportunity to strengthen teachers' capacity to employ AI intelligently, critically, ethically, creatively, and purposefully. The effective teacher of the GenAI era will therefore be one who can combine scientific expertise, pedagogical knowledge, technological competence, critical evaluation, and ethical responsibility to ensure that AI enhances rather than diminishes the quality of science education. Building such professional capacity can transform GenAI from a rapidly emerging technological innovation into a carefully governed educational resource capable of supporting scientific inquiry, reasoning, personalized learning, assessment, creativity, and professional practice while preserving teacher autonomy, learner agency, scientific integrity, and the fundamentally human purposes of education.

FUTURE RESEARCH

Future research should move beyond the computationally generated dataset used in this study and validate the proposed findings through empirical investigation involving Integrated Science teachers across diverse educational contexts. Large-scale studies should examine differences in GenAI literacy according to teaching experience, educational qualification, school location, access to digital infrastructure, and prior AI experience. Longitudinal research should also determine whether structured professional development produces sustained improvements in teachers' GenAI competencies and classroom practices. Experimental studies comparing conventional professional development with case-based, collaborative, and Human-AI professional-learning models would provide stronger evidence concerning effective capacity-building strategies. Future researchers should additionally investigate students' perspectives, classroom learning outcomes, scientific reasoning, and ethical awareness following teacher-led GenAI integration. Cross-national studies, particularly involving developing educational systems such as Nigeria, could further identify contextual barriers and culturally appropriate approaches for responsible GenAI adoption in science education.

References

Afzal, A., Somabut, A., Tuamsuk, K., Lowatcharin, G., Traiyarach, S., & Kwangmuang, P. (2025). Preparing for the AI era: Science teachers' readiness and professional development needs for generative AI integration in secondary education. *Social Sciences & Humanities Open, 12*, 102259. https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2025.102259

Blonder, R., Feldman-Maggor, Y., & Rap, S. (2025). Are they ready to teach? Generative AI as a means to uncover pre-service science teachers' PCK and enhance their preparation program. *Journal of Science Education and Technology, 34*, 1301-1310. https://doi.org/10.1007/s10956-024-10180-2

Davis, F. D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quarterly, 13*(3), 319-340. https://doi.org/10.2307/249008

Ding, A.-C. E., Shi, L., Yang, H., & Choi, I. (2024). Enhancing teacher AI literacy and integration through different types of cases in teacher professional development. *Computers and Education Open*, *6*, 100178. https://doi.org/10.1016/j.caeo.2024.100178

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., Pfeiffer, F., Poquet, O., Sailer, M., Schmidt, A., Seidel, T., Stadler, M., & Kasneci, G. (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

Kim, W. J. (2026). Teachers' use of generative artificial intelligence for designing science lessons in support of environmental science agency. *Research in Science Education*, *56*, 203-222. https://doi.org/10.1007/s11165-025-10262-0

Miao, F., & Cukurova, M. (2024). *AI competency framework for teachers*. UNESCO. https://doi.org/10.54675/ZJTE2084

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*, 100041. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100041

Shi, L. (2025). Assessing teachers' generative artificial intelligence competencies: Instrument development and validation. *Education and Information Technologies*, *30*, 23365-23384. https://doi.org/10.1007/s10639-025-13684-5

UNESCO. (2023). *Guidance for generative AI in education and research*. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386693

THE ROLE OF PHYSICAL EDUCATION LEARNING MOTIVATION IN PREDICTING MENTAL HEALTH AMONG STUDENTS AT THE UNIVERSITY OF DANANG, VIETNAM

MA. Ha Thi Han[1]
MA. Cao Duc Anh[1]
[1]Faculty of Physical Education, The University of Danang, Vietnam

ABSTRACT

Background: Motivation in physical education (PE) is increasingly recognized as a psychological factor associated with university students' mental health. However, empirical evidence comparing how male and female students benefit from learning motivation in PE remains limited in the Vietnamese higher education context.

Purpose: This study examined the role of PE learning motivation in predicting mental health among students at the University of Danang and analyzed gender differences in key motivational predictors.

Methods: A sample of N = 725 students (Male = 362; Female = 363) completed validated scales assessing intrinsic motivation, extrinsic motivation, amotivation, and mental health (MHI-18). Descriptive statistics, Pearson correlations, and multiple regression analyses were conducted separately for males and females.

Results: Both males and females demonstrated high intrinsic motivation toward PE, though females (M = 4.21) scored slightly higher than males (M = 4.15). Mental health scores were comparable between genders. Intrinsic motivation showed a moderate positive correlation with mental health for both groups, though stronger among females (r = .41) compared to males (r = .33). Amotivation negatively correlated with mental health in both groups, with a slightly stronger effect among males (r = –.37 vs. –.34). Regression analyses indicated that intrinsic motivation was the strongest positive predictor of mental health for both males (β ≈ .28) and females (β ≈ .34). Amotivation emerged as a significant negative predictor in both models. Extrinsic motivation did not significantly predict mental health in either gender.

Conclusion: PE learning motivation plays a substantial role in supporting students' mental health; however, the magnitude of influence varies by gender. Females benefit more strongly from intrinsic motivation, while males are more adversely affected by amotivation. PE programs should prioritize enhancing intrinsic motivation, especially through engaging, autonomy-supportive teaching strategies, to improve mental health outcomes in both male and female students.

Keywords: physical education, learning motivation, mental health, gender differences, university students.

1. INTRODUCTION

University students are increasingly exposed to a variety of psychological stressors, including academic workload, social adjustment, and lifestyle transition, which can negatively affect mental health and overall well-being. Evidence suggests that physical activity (PA) and structured physical education (PE) can play a protective and promotive role in mental health for this population (Torales et al., 2024; Ma et al., 2024; Hasanah & Rahmatullah, 2024). Specifically, a recent epidemiological study among undergraduates showed that higher levels of PA were associated with lower prevalence of depression, anxiety, and stress. Another large-scale cross-sectional study with 4,484 Chinese college students found that better physical fitness (e.g., vital capacity, endurance running) significantly correlated with improved psychological health. Meanwhile, a scoping review published in 2025 highlighted a strong link between perceived physical literacy / PA participation and better mental health outcomes in tertiary students, further

underscoring the psychological value of PE beyond physical fitness.

Motivation is recognized as a key psychological mechanism determining the extent to which students engage in PE or PA and thereby derive mental health benefits. According to Self-Determination Theory (SDT), the quality of motivation—ranging from intrinsic motivation, extrinsic regulation, to amotivation—affects individual well-being, psychological functioning, and behavioral persistence (Deci & Ryan, 2000). When students experience autonomy, competence, and relatedness in PE settings, intrinsic motivation fosters engagement, enjoyment, and sustained participation; this in turn may lead to positive mental health outcomes. Conversely, amotivation or solely external regulation may result in disengagement, low adherence, and poorer mental well-being.

Despite growing international evidence, relatively few studies have explicitly examined how different types of PE/PA motivation relate to mental health among university students — especially in non-Western or Asian contexts. Even fewer have considered gender differences in these relationships. Understanding such differences is essential for developing equitable and effective PE curricula.

In Vietnam, mental health among university students has become a growing concern, but research linking PE/PA motivation and mental health remains scarce. Most available studies focus on general physical activity levels or health behaviors, but not on motivational determinants or psychological outcomes. Given the widespread requirement for students to participate in PE classes in Vietnamese universities, it is timely and relevant to explore whether PE learning motivation can predict mental health, and whether such predictive effects differ by gender.

Therefore, this study aims to (1) examine the predictive role of PE learning motivation (intrinsic motivation, extrinsic motivation, amotivation) on mental health among students at the University of Danang; and (2) analyze gender differences in these predictive relationships. In doing so, the study seeks to contribute empirical evidence to the Vietnamese higher-education context and support the development of gender-sensitive, autonomy-supportive PE programs to enhance both physical and psychological well-being of students.

2. RESEARCH METHODS

2.1. Research Design

This study employed a cross-sectional quantitative research design, which is widely used to examine associations between psychological variables and health outcomes in higher-education populations. Cross-sectional methodologies are commonly applied in mental-health and physical-activity research because they allow for efficient assessment of large samples within a specific time frame (Torales et al., 2024; Ma et al., 2024). Data were collected via a self-administered online questionnaire distributed to undergraduate students at the University of Danang.

2.2. Participants

A total of N = 725 university students participated in the study, including 362 males and 363 females. Participants were recruited using stratified sampling across different faculties. Inclusion criteria were: (1) currently enrolled at the University of Danang, (2) participation in compulsory PE courses, and (3) voluntary consent to join the study. The sample size met recommended criteria for regression analysis (minimum 10–15 participants per predictor), ensuring adequate statistical power.

2.3. Measures

2.3.1. Learning Motivation in Physical Education

Motivation was measured using a validated scale based on Self-Determination Theory (SDT). Specifically, the structure followed the classifications of intrinsic motivation, extrinsic

motivation, and amotivation, consistent with previous work in sport and PE contexts (Deci & Ryan, 2000; Pelletier et al., 2013).

- Intrinsic Motivation: Assesses enjoyment, interest, and inherent satisfaction in PE.
- Extrinsic Motivation: Measures engagement due to external rewards or pressures.
- Amotivation: Reflects lack of intention or perceived value for participation.

The structure and item wording were adapted from the Sport Motivation Scale-II (SMS-II), which demonstrates strong psychometric validity across cultures (Pelletier et al., 2013).

All items were rated on a 5-point Likert scale (1 = strongly disagree to 5 = strongly agree). Internal consistency coefficients (Cronbach's alpha) in this study ranged from .78 to .89.

2.3.2. Mental Health

Mental health was assessed using the Mental Health Inventory – 18 items (MHI-18), a reliable measure for evaluating psychological well-being and psychological distress in student populations. The MHI-18 has been widely used in international research due to its strong psychometric properties and brevity (Veit & Ware, original scale). The Vietnamese adaptation used in this study followed standard translation–back-translation procedures.

Students rated the frequency of emotional states (e.g., anxiety, depression, positive affect) on a 6-point scale. Higher scores indicate better mental health.

2.4. Data Analysis

Statistical analyses were conducted using SPSS 26.0. Procedures included:

1. Descriptive Statistics (means, standard deviations)
2. Pearson Correlations to examine associations between motivation variables and mental health
3. Multiple Linear Regression performed separately for males and females, following gender-stratified analysis recommended in educational psychology research

Statistical significance was set at $p < .05$. Multicollinearity, normality, and homoscedasticity were checked and fell within acceptable thresholds.

3. RESULTS

3.1. Descriptive Statistics

The descriptive results presented in Table 1 provide an overview of students' motivation profiles in physical education (PE) and their mental health status across gender groups. Both male (M = 4.15, SD = 0.62) and female students (M = 4.21, SD = 0.59) demonstrate high levels of intrinsic motivation, surpassing the threshold of 4.0 on a 5-point scale. This indicates that most students experience enjoyment, personal interest, and a sense of value in PE participation. These findings align with Self-Determination Theory (SDT), which highlights intrinsic motivation as the most autonomous and beneficial form of motivation, associated with sustained engagement and better psychological well-being (Deci & Ryan, 2000; Ryan & Deci, 2017).

Table 1. Descriptive statistics of study variables by gender (N = 725)

Variable	***Male (n = 362)*** ***M ± SD***	***Female (n = 363)*** ***M ± SD***
Intrinsic motivation	4.15 ± 0.62	4.21 ± 0.59
Extrinsic motivation	3.42 ± 0.71	3.47 ± 0.69
Amotivation	2.11 ± 0.78	2.08 ± 0.75
Mental health (MHI-18)	4.03 ± 0.65	4.05 ± 0.63

Notably, **female students reported slightly higher intrinsic motivation** compared to males, although the difference is small. This pattern is consistent with prior international evidence suggesting that female students often exhibit greater sensitivity to emotional, relational, and experiential aspects of physical activity (Vesković et al., 2022). This suggests that the PE environment within the university may effectively support female students' psychological

needs—such as autonomy and competence—which are essential components of intrinsic motivation within SDT.

Regarding **extrinsic motivation**, both genders scored at a moderate level (Male: M = 3.42; Female: M = 3.47). This indicates that although external factors—such as grades, course requirements, or compliance—still contribute to students' participation, they are less dominant compared to intrinsic motivation. This is in line with recent PE research showing that university students tend to rely less on external regulation as they gain more autonomy and meaningful learning experiences (Silverman & Mercier, 2019).

Levels of **amotivation** were relatively low for both males (M = 2.11) and females (M = 2.08). Scores below 2.5 reflect that students rarely feel disengaged, confused, or purposeless in PE activities. This suggests that the PE learning environment at the University of Danang may be effective in minimizing amotivation—an important finding given that amotivation is a well-established predictor of negative psychological outcomes (Pelletier et al., 2013).

Finally, **mental health scores (MHI-18)** were high and nearly identical across genders (Male: M = 4.03; Female: M = 4.05). This indicates that both groups maintain relatively positive emotional and psychological well-being. The similarity between genders suggests that PE-related psychological experiences may provide comparable benefits for male and female students, consistent with prior research on mental health in Vietnamese university populations (Nguyen et al., 2021).

Overall, the descriptive results highlight high intrinsic motivation, moderate extrinsic motivation, low amotivation, and good mental health among students. These patterns provide an essential foundation for further analyses, including correlation and regression, to determine the differential predictive roles of motivation across gender groups.

3.2. Correlation Analysis

The correlation analysis was conducted to examine the nature and magnitude of the relationships between different types of PE learning motivation and mental health (MHI-18) across gender groups. The findings reveal consistent patterns across males and females, yet with notable variations in the strength of associations, underscoring the moderating role of gender in motivation-related psychological outcomes.

Table 2. Pearson correlations between motivation variables and mental health

Variable	*Intrinsic*	*Extrinsic*	*Amotivation*	*Mental Health*
Male				
Intrinsic	—	.22*	–.18*	**.33**
Extrinsic	.22*	—	–.12	.08
Amotivation	–.18*	–.12	—	**–.37**
Mental Health	.33	.08	–.37	—
Female				
Intrinsic	—	.20*	–.15*	**.41**
Extrinsic	.20*	—	–.09	.10
Amotivation	–.15*	–.09	—	**–.34**
Mental Health	.41	.10	–.34	—

*p < .05

First, intrinsic motivation demonstrated a moderate positive correlation with mental health for both males (r = .33) and females (r = .41). The stronger association among female students suggests that they may derive greater psychological benefits from feelings of enjoyment, autonomy, and meaning during PE participation. This aligns with Self-Determination Theory (SDT), which posits that intrinsic motivation fulfills the core psychological needs of competence, autonomy, and relatedness—key predictors of psychological well-being (Deci & Ryan, 2000;

Ryan & Deci, 2017). Supporting evidence from Shen et al. (2018) also indicates that students with higher intrinsic motivation display more positive affect, greater engagement, and improved learning outcomes in PE.

In contrast, amotivation showed a moderate negative correlation with mental health, with males exhibiting a slightly stronger negative association (r = –.37) compared to females (r = –.34). This suggests that male students may experience a more pronounced decline in mental well-being when they perceive PE as meaningless or lack motivation to participate. Such results are consistent with prior research, which highlights amotivation as a strong negative predictor of emotional stability and participation in physical activity (Pelletier et al., 2013).

For extrinsic motivation, correlations with mental health were negligible and statistically non-significant across both gender groups. This indicates that participating in PE due to external pressures—such as grades, requirements, or external expectations—does not meaningfully contribute to students' mental well-being. This pattern reflects findings from broader PE motivational literature, emphasizing that extrinsic motives are less sustainable and offer limited psychological benefits (Standage et al., 2012; Silverman & Mercier, 2019).

Overall, the correlation findings reinforce a consistent motivational pattern: intrinsic motivation is positively associated, whereas amotivation is negatively associated with mental health. However, the varying strength of associations across gender groups suggests that the psychological impact of learning motivation in PE differs between males and females. These insights provide a foundational basis for the subsequent regression analysis, which aims to determine the unique predictive contributions of each motivational construct.

3.3. Multiple Regression Analysis

Table 3 presents the results of multiple regression analyses examining how different types of academic motivation predict **mental health** among male and female students.

Table 3. Multiple regression predicting mental health by gender

Predictor	β (Male)	p	β (Female)	p
Intrinsic motivation	**.28**	<.001	**.34**	<.001
Extrinsic motivation	.05	.214	.07	.188
Amotivation	**–.31**	<.001	**–.27**	<.001
R^2	.29	—	.33	—

Intrinsic motivation emerged as the **strongest positive predictor** of mental health for both genders: Males: β = .28, p < .001; Females: β = .34, p < .001. Students who are intrinsically motivated—learning because they enjoy it or find it meaningful—were more likely to report better mental health. The effect was stronger among females, indicating that women may rely more heavily on internally driven satisfaction to maintain psychological wellbeing. This aligns with the Self-Determination Theory (Deci & Ryan, 2000), which emphasizes the strong link between intrinsic motivation and psychological health.

Amotivation was a significant negative predictor for both groups: Males: β = –.31, p < .001; Females: β = –.27, p < .001. Students lacking purpose, interest, or belief in their abilities tended to have poorer mental health. The effect was stronger among males, suggesting that loss of motivation may harm men's mental health more severely than women's. This finding is consistent with prior research (Vallerand, 2007; Ryan & Deci, 2017), showing that amotivation is associated with stress, emotional exhaustion, and lower wellbeing.

Extrinsic motivation did not significantly predict mental health for either gender: Males: β = .05, p = .214; Females: β = .07, p = .188. External incentives such as rewards, recognition, or avoidance of punishment do not appear to influence students' mental health. This result is also consistent with SDT, which argues that extrinsic motivation contributes less to long-term wellbeing.

The explanatory power of the regression models was assessed using the coefficient of determination (R^2). For the male subgroup, the model accounted for 29% of the variance in mental health scores ($R^2 = .29$), indicating that motivational factors—intrinsic motivation, extrinsic motivation, and amotivation—collectively explain a substantial proportion of the variability in psychological well-being among male students. In the female subgroup, the model demonstrated a slightly higher explanatory strength, accounting for 33% of the variance in mental health ($R^2 = .33$).

Although the difference between the two models is modest, these results suggest that motivational constructs exert a somewhat stronger influence on mental health among female students. This pattern is consistent with previous research showing that female students may be more sensitive to motivational drivers in academic and physical activity contexts, particularly intrinsic motivation and the absence of amotivation (e.g., Ryan & Deci, 2017; Vesković et al., 2022).

Overall, both models demonstrate moderate to substantial explanatory power within the context of behavioral and psychological research, where R^2 values in the range of .20–.40 are commonly considered meaningful due to the multifactorial nature of mental health. The findings highlight the central role of motivation—especially intrinsic motivation and reduced amotivation—as important determinants of students' psychological well-being.

4. DISCUSSION

The findings of this study provide important insights into how different forms of motivation in physical education (PE) are associated with students' mental health, and how these relationships vary by gender. The discussion integrates descriptive, correlational, and regression results to interpret the role of intrinsic motivation, extrinsic motivation, and amotivation within the framework of Self-Determination Theory (SDT) and contemporary PE literature.

Intrinsic motivation as the strongest facilitator of mental health

Across all analyses, intrinsic motivation consistently emerged as the most influential positive factor. Descriptive statistics showed high intrinsic motivation among both males ($M = 4.15$) and females ($M = 4.21$), while correlation analysis indicated a moderate positive association with mental health—stronger among females ($r = .41$) than males ($r = .33$). Regression analysis further confirmed intrinsic motivation as the strongest predictor of mental health in both genders, especially for females ($\beta = .34$ versus $\beta = .28$).

These results strongly support SDT, which posits that intrinsic motivation—rooted in autonomy, competence, and relatedness—enhances psychological well-being and long-term engagement (Deci & Ryan, 2000; Ryan & Deci, 2017). Prior PE studies similarly demonstrate that students who perceive PE as enjoyable and meaningful report higher positive affect and better mental health (Shen et al., 2018). The slightly stronger effect among females aligns with evidence that women tend to value relational, emotional, and experiential aspects of physical activity more than men (Vesković et al., 2022).

Amotivation as a significant risk factor for mental health

Amotivation was low in both gender groups, yet its impact was substantial. Correlation analysis showed moderate negative associations with mental health (males: $r = –.37$; females: –.34). Regression results confirmed it as a significant negative predictor, with a stronger effect among males ($\beta = –.31$ versus –.27).

Amotivation reflects feelings of incompetence, disconnection, or lack of purpose—states linked with emotional exhaustion and reduced well-being (Pelletier et al., 2013). Vallerand's Hierarchical Model of Motivation also identifies amotivation as a major risk factor for decreased psychological functioning (Vallerand, 2007). The stronger negative impact among males may

indicate that men experience psychological withdrawal more intensely when they lack a sense of meaning or competence in PE.

Limited role of extrinsic motivation

Extrinsic motivation showed moderate levels in descriptive analysis but very weak correlations with mental health and non-significant regression effects for both genders. These findings suggest that external pressures—such as requirements, evaluations, or rewards—do not meaningfully influence students' psychological well-being.

This is consistent with SDT, which highlights that extrinsic motivation provides limited mental-health benefits unless fully internalized (Ryan & Deci, 2017). Other PE studies also report that external regulation is less sustainable and unrelated to positive emotional outcomes (Standage et al., 2012; Silverman & Mercier, 2019).

Gender differences and psychological sensitivity

The results indicate that motivational processes influence the mental health of males and females differently. Females showed stronger benefits from intrinsic motivation, while males were more negatively affected by amotivation. These differences are consistent with international studies suggesting that females may be more responsive to positive motivational climates, whereas males may be more vulnerable to motivational deficits (Vesković et al., 2022).

Explanatory power of the models

The regression models demonstrated moderate but meaningful explanatory power: Males: R^2 = .29; Females: R^2 = .33. In psychological and behavioral research, R^2 values around .20–.40 are considered substantial, given the complexity of mental health. The slightly higher R^2 for females indicates that motivational factors may play a greater role in the psychological wellbeing of female students.

Taken together, the results provide strong empirical support for SDT in the PE context. Intrinsic motivation enhances mental health, amotivation undermines it, and extrinsic motivation plays a minimal role. Gender differences reveal nuanced psychological mechanisms, highlighting the importance of tailored pedagogical strategies. Importantly, the findings show that when PE promotes autonomy, competence, and meaning, it becomes a powerful contributor to university students' mental well-being.

5. Conclusion

This study examined the relationships between different forms of motivation in physical education—intrinsic motivation, extrinsic motivation, and amotivation—and mental health among university students, with a specific focus on gender differences. Across all analyses, intrinsic motivation consistently emerged as the strongest positive predictor of mental health, underscoring the vital role of autonomous motivation in fostering psychological well-being in higher education contexts. Conversely, amotivation demonstrated a significant negative association with mental health for both males and females, with a slightly stronger effect observed among male students. These results highlight the detrimental psychological consequences of lacking purpose, interest, or perceived competence in physical education.

The explanatory power of the regression models (R^2 = .29 for males; R^2 = .33 for females) indicates that motivational constructs account for a meaningful proportion of the variance in students' mental health, particularly among female students. This suggests that fostering autonomous motivation may be especially beneficial for enhancing psychological well-being in women.

Taken together, the findings reinforce the importance of creating a supportive learning environment in physical education—one that nurtures intrinsic motivation, reduces amotivation, and encourages self-driven engagement. Such efforts may contribute not only to better learning outcomes but also to improved mental health and overall student well-being. Future research

should explore additional psychological, environmental, and social factors that may interact with motivation to influence mental health across diverse student populations.

References

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2000). *The "what" and "why" of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior*. Psychological Inquiry, 11(4), 227–268. https://doi.org/10.1207/S15327965PLI1104_01

Hsu, R. M. C. S., Cardoso, F. L., Varella, M. A. C., Pires, E. M., & Valentova, J. V. (2022). Comparing different typologies of physical activities with a focus on motivation. *Frontiers in Psychology, 13*, 790490. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.790490 Frontiers

Nguyen, T. T., et al. (2021). *Mental health among Vietnamese university students*. BMC Public Health. https://bmcpublichealth.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12889-021-11629-9

Pelletier, L. G., Rocchi, M. A., Vallerand, R. J., Deci, E. L., & Ryan, R. M. (2013). Validation of the revised Sport Motivation Scale-II (SMS-II). *Psychology of Sport and Exercise, 14*(3), 329–341. https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2012.12.002

Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2017). *Self-determination theory: Basic psychological needs in motivation, development, and wellness*. Guilford Press. https://selfdeterminationtheory.org

Shen, B., McCaughtry, N., & Martin, J. (2018). *Intrinsic motivation in PE and student well-being*. Journal of Teaching in Physical Education. https://doi.org/10.1123/jtpe.2017-0034

Silverman, S., & Mercier, K. (2019). *Motivation in physical education: Theory and practice*. Routledge. https://www.routledge.com

Standage, M., Gillison, F., & Treasure, D. (2012). *Self-determination and PE motivation*. Journal of Educational Psychology, 104(1), 182–196. https://doi.org/10.1037/a0026434

Varella, M. A. C., Valentova, J. V., & Fernandes, Â. M. (2024). Motivational variations in fitness: A population study of exercise modalities, gender and relationship status. *Frontiers in Psychology*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1377947 Frontiers

Vesković, A., et al. (2022). *Gender differences in motivation and physical activity patterns*. Frontiers in Psychology. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.836251

GUIDANCE AND COUNSELLING IN THE ERA OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE: IMPLICATIONS FOR COUNSELLING TRAINING INSTITUTIONS IN NIGERIA

BASHIRU MUHAMMAD LIMAN, Ph.D
Department of Guidance and Counselling,
Shehu Shagari University of Education, Sokoto, Nigeria
ORCID ID: 0009-0005-3853-845X
RUKAYYA MALAMI UMAR
Department of Guidance and Counselling
Shehu Shagari University of Education, Sokoto, Nigeria

Abstract
The emergence of Artificial Intelligence (AI) has brought transformative changes across various sectors, including education, healthcare, business, and human services. Guidance and counselling, as a profession focused on human development, decision-making, psychological support, and career development, is increasingly being influenced by AI-driven technologies. This paper examines the implications of artificial intelligence for counselling practice and counsellor preparation, with particular attention to counselling training institutions in Nigeria. AI provides opportunities for enhancing counselling services through digital counselling platforms, intelligent assessment tools, personalized career guidance systems, automated administrative support, and improved access to counselling resources. However, the adoption of AI also presents significant challenges, including ethical concerns, confidentiality and data protection issues, technological competence gaps, algorithmic bias, and the risk of weakening the human-centred nature of counselling relationships. The paper emphasizes that counselling training institutions in Nigeria must adapt their programmes by integrating AI literacy, digital counselling competencies, technology-based assessment skills, and ethical guidelines into counsellor education curricula. The paper concludes that AI should not replace professional counsellors but should serve as a supportive tool that enhances counselling effectiveness while preserving empathy, ethical responsibility, and human interaction. Effective integration of AI into counselling education requires strategic curriculum reform, institutional readiness, investment in digital infrastructure, and policies that promote responsible and inclusive use of emerging technologies.

Keywords: Artificial Intelligence, Counsellor Education, Counselling Training Institutions, Digital Counselling and Emerging Technologies.

THE IMPACT OF ERASMUS+ KA171 MOBILITY ON CULTURAL SKILLS AND ADAPTIVENESS OF ALBANIAN STUDENTS

Elton Skendaj
Mediterranean University of Albania, Tirana, Albania

ABSTRACT

This paper investigates the impact of Erasmus+ KA171 international credit mobility on the cultural skills and adaptiveness of Albanian university students. Albania has participated in the Erasmus+ programme as a Partner Country since 2014, enabling hundreds of students each year to study at European universities through the International Credit Mobility action. Despite a decade of participation and thousands of individual mobility experiences, no empirical study has previously measured what these exchanges produce in terms of intercultural competence and adaptive capacity for Albanian students. This paper addresses that gap by analysing primary survey data from students with mobility experience across twenty host countries. The study employs a retrospective pre/post design in which each student assesses their cultural skills and adaptiveness both before departure and after return, producing within-person gain scores that isolate the mobility effect from pre-existing individual differences. The findings are validated through confirmatory factor analysis. Results demonstrate that cultural awareness and adaptability represent the two strongest areas of soft skills development from Erasmus+ mobility, exceeding gains in communication, collaboration, and problem-solving. The near-unanimous recommendation of the programme by its participants provides independent corroboration. These results offer the first empirical evidence that Erasmus+ intercultural and adaptive competence outcomes documented in Programme Countries are replicable in the Western Balkans Partner Country context, with implications for Albanian higher education policy and European mobility programme evaluation.

Keywords: *Erasmus+ KA171; cultural skills; adaptability; intercultural competence; student mobility; Albania; Partner Country; soft skills; CFA; Western Balkans*

INTRODUCTION

The development of intercultural competence and adaptive capacity through international mobility has become a central objective of European higher education policy. As globalisation intensifies economic, social, and cultural interconnectedness, the ability to navigate cultural difference and adapt to unfamiliar environments is increasingly recognised as a defining graduate competence for the twenty-first century (World Economic Forum, 2023). The European Commission has positioned Erasmus+ as the primary instrument for developing these transversal competences, investing €26.2 billion in the 2021–2027 programme period.

Within the Erasmus+ framework, cultural awareness and adaptability occupy a theoretically privileged position. The Erasmus Impact Study (Brandenburg et al., 2014), surveying over 75,000 participants across 34 countries, documented that personal and intercultural development consistently emerges as the strongest perceived outcome of student mobility — exceeding professional development, academic achievement, and employability gains (Souto-Otero et al., 2019).

For Partner Countries such as Albania, participation occurs through KA171 International Credit Mobility. Albania has participated since 2014, generating approximately 400–600 mobility grants annually across eleven higher education institutions. Yet the Erasmus Impact Study

explicitly excluded Partner Countries, leaving the Western Balkans as a geographic and methodological blank in the evidence base.

This paper addresses that gap with a specific research question: What measurable impact does Erasmus+ KA171 mobility have on the cultural skills and adaptiveness of Albanian students, and how do these gains compare to the broader soft skills development profile? Drawing on primary survey data from N=217 Albanian students with KA171 experience across twenty host countries, the study employs a retrospective pre/post design with paired t-tests and Confirmatory Factor Analysis.

Albania presents a particularly significant research context. Four decades of communist-era isolation (1944–1990) left a legacy of limited international academic exposure. Albania's current position as an EU candidate country (accession negotiations opened 2022) creates additional urgency: intercultural competence and adaptability are precisely the competences that the EU integration trajectory demands. Salisbury et al. (2013) demonstrated that students with limited prior international exposure show the largest intercultural gains — making Albania a natural experiment for testing this amplification hypothesis.

RESEARCH AND FINDINGS

Literature and Theoretical Framework

Intercultural competence has been theorised through several influential frameworks. Bennett's (1993) Developmental Model of Intercultural Sensitivity proposes a six-stage progression from ethnocentrism to ethnorelativism. Hammer et al. (2003) operationalised this through the Intercultural Development Inventory. The EIS adapted these frameworks into a self-report instrument measuring perceived competence change — the approach the present study follows.

Adaptability — the capacity to adjust behaviour and strategies in unfamiliar environments — is conceptually distinct from but empirically related to cultural awareness. Soares and Mosquera (2019), using Qualitative Comparative Analysis with 196 Portuguese Erasmus students, found adaptability was the most consistently developed competence. Andreou et al. (2023) confirmed that extended Erasmus+ participation correlates positively with adaptive skills development. The present study measures both dimensions — Cultural Awareness (SQ5) and Adaptability (SQ4) — then examines their CFA construct (C3: Intercultural Competence).

Methodology

The study employs an explanatory sequential mixed methods design (Creswell & Plano Clark, 2018). The instrument measures five soft skills dimensions — Communication (SQ1), Collaboration (SQ2), Problem-Solving (SQ3), Adaptability (SQ4), and Cultural Awareness (SQ5) — using a retrospective pre/post five-point Likert scale adapted from the EIS memo© framework (Brandenburg et al., 2014). N=217 Albanian students completed the survey between October 2024 and February 2025 across eleven universities and twenty host countries. 74.4% reported four-to-six month exchanges. N=182 complete pairs were used for CFA using lavaan (Rosseel, 2012) with the MLR estimator. Reflexive thematic analysis (Braun & Clarke, 2006) was applied to open-ended responses.

Quantitative Findings: Cultural Skills and Adaptability Lead All Dimensions

All five dimensions showed statistically significant pre/post gains (all $p < .001$). Crucially, the two dimensions measuring cultural skills and adaptiveness showed the largest gains. Adaptability (SQ4) showed $\Delta = +1.441$ (Pre M = 3.322, Post M = 4.763) — the single largest gain. Cultural Awareness (SQ5) showed $\Delta = +1.290$ (Pre M = 3.351, Post M = 4.641) — second largest. Communication gained $\Delta = +0.990$, Problem-Solving $\Delta = +0.885$, and Collaboration $\Delta = +0.868$.

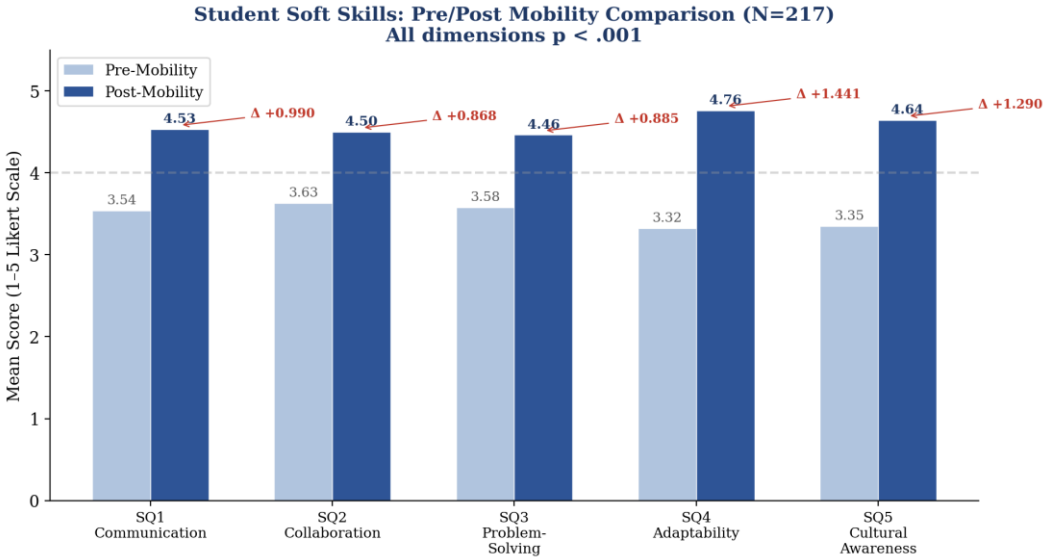


Figure 1. Pre/Post Mobility Comparison across all five soft skills dimensions (N=217). Adaptability and Cultural Awareness show the largest gains, both exceeding Δ = +1.0 on the five-point scale.

The combined Adaptability + Cultural Awareness gain (Δ = +2.731) accounts for roughly half of all measured soft skills growth. Albanian students enter with lower intercultural baselines (Pre M = 3.322–3.351) compared to communication (Pre M = 3.541) and exit with the highest post-mobility scores in the intercultural dimensions (Post M = 4.641–4.763).

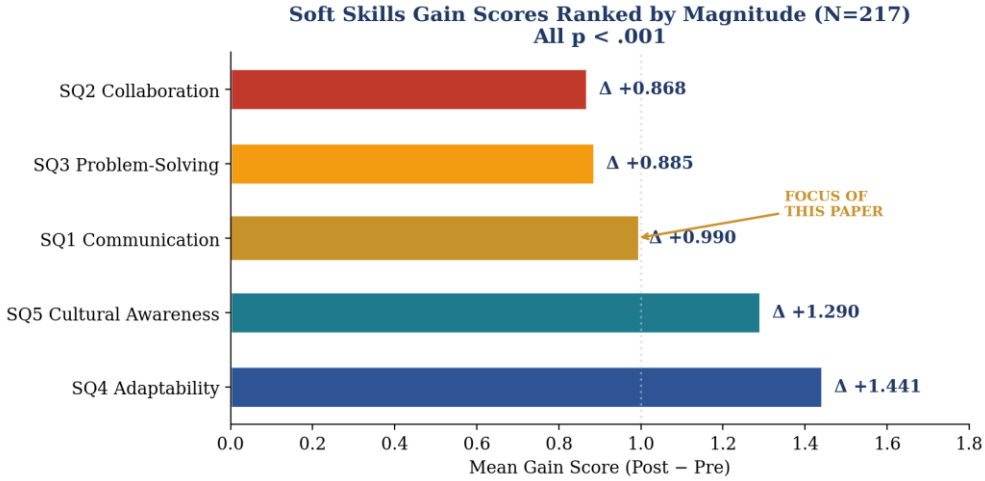


Figure 2. Gain Scores Ranked by Magnitude. Adaptability and Cultural Awareness dominate, consistent with the amplification hypothesis for limited-prior-exposure populations.

CFA Validation: The Intercultural Competence Construct

The three-construct CFA model achieved good fit: CFI = 0.962, TLI = 0.931, RMSEA = 0.071, SRMR = 0.038. Construct C3 (Intercultural Competence: SQ4 + SQ5) achieved the highest construct reliability: CR = 0.846, AVE = 0.734 — exceeding all conventional thresholds (Hair et al., 2019). Factor loadings of SQ4 (λ = 0.852) and SQ5 (λ = 0.861) on C3 are the highest in the model.

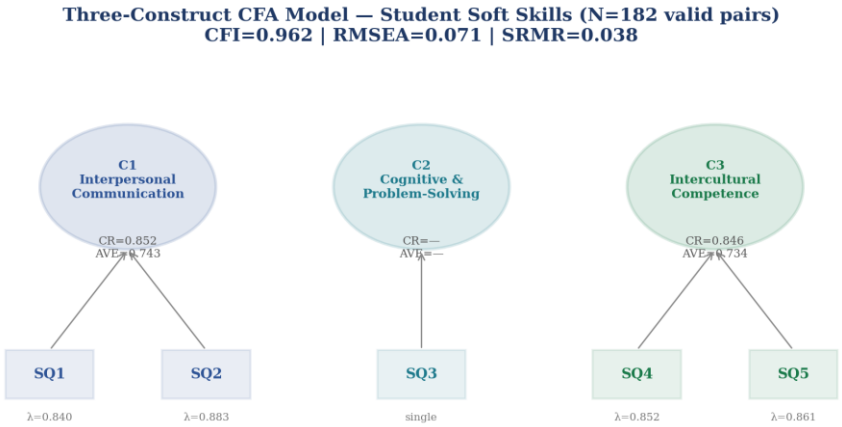


Figure 3. Three-Construct CFA Model. C3 (Intercultural Competence) achieves the strongest construct reliability (CR = 0.846, AVE = 0.734) among all three latent factors.

Corroborative Evidence

Binary indicators corroborate: 97.7% would recommend Erasmus+ for soft skills development; 90.3% reported language improvement. Thematic analysis of Q20 revealed Cultural awareness and personal growth as the most cited theme (35.5%), mirroring the quantitative ranking precisely — cross-method triangulation at its strongest.

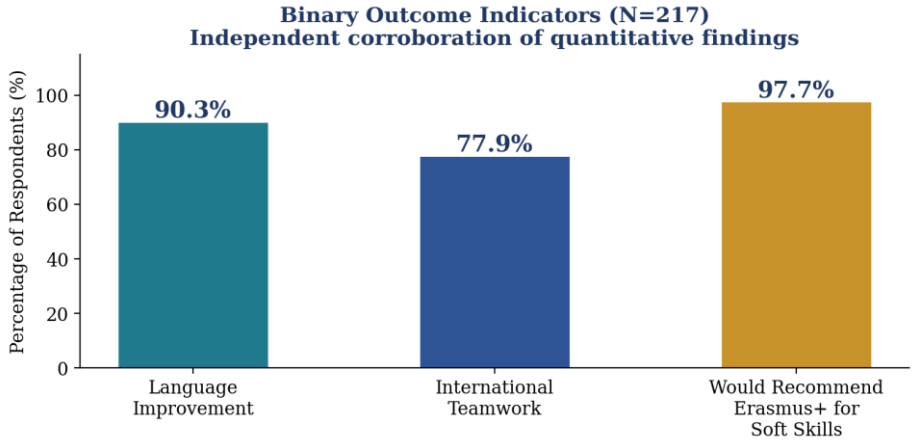


Figure 4. Binary Outcome Indicators. 97.7% recommendation rate exceeds EIS Programme Country benchmarks.

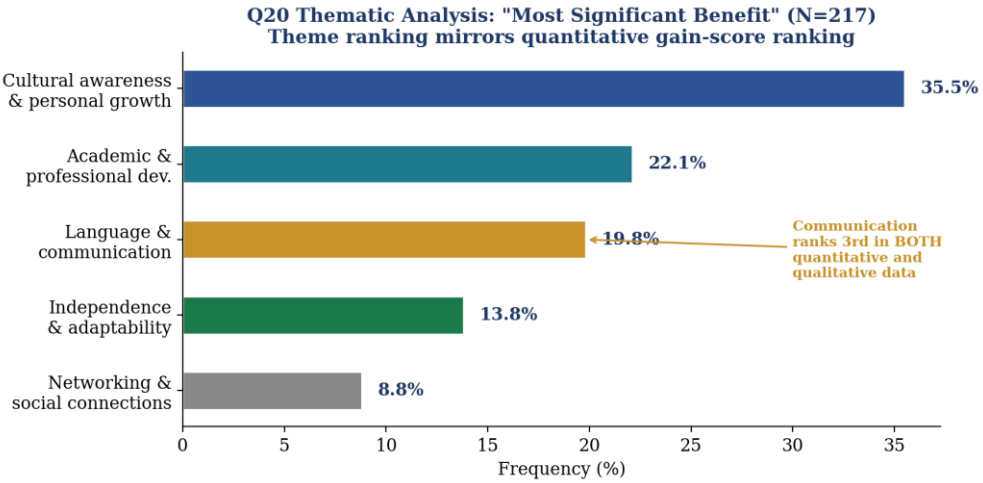


Figure 5. Q20 Thematic Analysis. Cultural awareness ranks first in both quantitative gains and qualitative frequency.

Discussion

The findings confirm that cultural skills and adaptability represent the strongest dimension of Erasmus+ outcomes for Albanian students — consistent with EIS benchmarks and Soares and Mosquera's (2019) findings. The Albanian context amplifies intercultural gains: pre-mobility baselines for cultural skills are lower than for communication, consistent with Salisbury et al.'s (2013) amplification hypothesis. The CFA-validated C3 construct (CR = 0.846) confirms these are not subjective impressions but psychometrically validated outcomes. Three limitations qualify the findings: retrospective pre/post response-shift bias, purposive sampling, and the absence of a comparison group.

CONCLUSION

This study demonstrates that Erasmus+ KA171 mobility produces substantial, measurable, and CFA-validated cultural skills and adaptiveness gains in Albanian students. Adaptability (Δ = +1.441) and Cultural Awareness (Δ = +1.290) are the two largest gains in a five-dimension framework. The CFA-validated Intercultural Competence construct (C3: CR = 0.846, AVE = 0.734) confirms these are statistically coherent, validated dimensions of mobility outcomes.

These findings constitute the first empirical evidence that Erasmus+ intercultural outcomes documented in Programme Countries are replicable in the Western Balkans Partner Country context. For Albanian HEIs, the evidence supports expanded KA171 investment. For the European Commission, KA171 delivers on intercultural objectives in contexts EIS did not examine. For the research community, the study opens a replication pathway across the Western Balkans.

AI Assistance Disclaimer

During the preparation of this manuscript, the author used Claude (Anthropic) as a writing assistant for structural drafting, statistical analysis code, reference formatting, and language editing. The author has reviewed and edited all AI-generated output and takes full responsibility for the content, accuracy, and integrity of this publication.

REFERENCES

Andreou, E., Vlachopoulos, D., & Giannoulis, N. (2023). Communication skills development through Erasmus+ student mobility. European Journal of Education, 58(3), 412–428.

Bennett, M. J. (1993). Towards ethnorelativism: A developmental model of intercultural sensitivity. In R. M. Paige (Ed.), Education for the intercultural experience (2nd ed., pp. 21–71). Intercultural Press.

Brandenburg, U., Berghoff, S., & Taboadela, O. (2014). The Erasmus Impact Study. Publications Office of the EU. https://doi.org/10.2766/75468

Braun, V., & Clarke, V. (2006). Using thematic analysis in psychology. Qualitative Research in Psychology, 3(2), 77–101.

Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). Designing and conducting mixed methods research (3rd ed.). SAGE.

Hair, J. F., Black, W. C., Babin, B. J., & Anderson, R. E. (2019). Multivariate data analysis (8th ed.). Cengage.

Hammer, M. R., Bennett, M. J., & Wiseman, R. (2003). Measuring intercultural sensitivity: The IDI. International Journal of Intercultural Relations, 27(4), 421–443.

Rosseel, Y. (2012). lavaan: An R package for structural equation modeling. Journal of Statistical Software, 48(2), 1–36.

Salisbury, M. H., An, B. P., & Pascarella, E. T. (2013). The effect of study abroad on intercultural competence. Journal of Student Affairs Research and Practice, 50(1), 1–20.

Skendaj, E. (2026). The impact of internationalization and student mobility on soft skills development [Doctoral dissertation, Mediterranean University of Albania].
Soares, M. E., & Mosquera, P. (2019). Fostering work engagement. Journal of Business Research, 101, 469–476.
Souto-Otero, M., Gehlke, A., & Basna, K. (2019). Erasmus+ higher education impact study. Publications Office of the EU.
World Economic Forum. (2023). The future of jobs report 2023. WEF. https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2023/

FEATURES OF RENAL AND LUMBAR HEMODYNAMICS DURING MUSCLE CONTRACTION AND AFTER COFFEE INTAKE IN STUDENTS

Ruslan SHEVERDIN
Independent researcher
Belarusian State University,
Faculty of Biology, Minsk, Republic of Belarus
Victor KAZAKEVICH
PhD in Biology, Associate Professor
Belarusian State University,
Faculty of Biology, Human and Animal Physiology Department,
Minsk, Republic of Belarus

ABSTRACT

In recent years, there has been growing interest in the physiological mechanisms regulating blood circulation in skeletal muscles and kidneys under various functional loads. Particular attention is paid to factors influencing hemodynamics in the lumbar region, which plays a key role in maintaining posture and enabling trunk movements. Furthermore, the widespread consumption of caffeine among young people makes the study of its effect on renal blood flow highly relevant.

The aim of this study was to assess changes in blood flow in the lumbar region and kidneys during lateral trunk bends, as well as after coffee consumption, in healthy male students using rheography. To achieve this aim, a literature review was conducted and an experimental study was performed involving 15 volunteers aged 18–22 years. The following parameters were recorded: rheographic index (RI), peripheral vascular resistance index (PVRI), maximum rate of rapid blood filling (MRRBF), and diastolic index (DI).

The results showed that during left and right trunk bends, RI and MRRBF decreased bilaterally, along with asymmetric changes in PVRI, indicating mechanical compression of blood vessels and activation of compensatory vasomotor reactions. After coffee consumption, a sharp increase in RI and MRRBF was observed within the first 5 minutes, followed by a gradual return to baseline values by 15–20 minutes, reflecting the biphasic nature of caffeine's action: initial vasoconstriction and subsequent stabilization of blood flow.

In conclusion, lateral trunk bends induce complex asymmetric hemodynamic changes in the lumbar region, while coffee exerts a dynamic biphasic effect on renal blood flow. These findings expand our understanding of muscle physiology and may be used to develop recommendations for the prevention of circulatory disorders.

Keywords: lumbar region, renal blood flow, muscle contraction, coffee, rheography, hemodynamics

ANALYSIS AND DESIGN OF $NiCo_2O_4$/g-CN ELECTROCATALYS VIA HYDROTHERMAL ROUTE TOWARDS ENHANCED OERPERFORMANCE

Dilawar Hussain
Department of Chemistry, Ghazi University, Dera Ghazi Khan, Pakistan
ORCID: ID/ 0009-0000-6914-1811

Abstract
The world is facing a significant threat with the widespread consumption of natural resources, particularly fossil fuels. Continuous growth in global population and rapid economic expansion will increase energy demand continuously. To meet these crises, water splitting is considered an effective approach. In this work, a hydrothermal method was used to generate a composite of g-CN integrated with $NiCo_2O_4$, and its OER activity was measured. The produced materials were thoroughly analyzed utilizing a wide range of physical methods. $NiCo_2O_4$/g-CN nanocomposite has a mesoporous structure due to equally scattered nanoparticles on g-CN nanosheet assessed via SEM. This boosts electron mobility and active surface area. TGA analysis was done for thermal stability verification. Electrochemical study was examined in alkaline solution, showed a reduced Tafel value of 37.5 mV dec^{-1} and η of 230 mV at j of 10 mA cm^{-2}, which allows for facilitated charge transfer and enhanced catalytic sites. The composite exhibits efficient OER performance because of increased surface area and higher electrical conductivity. This shows that $NiCo_2O_4$/g-CN is an efficient electrocatalyst for improved OER activity and opens the door for its potential use into large-scale renewable energy generation for future.

Keywords
Spinel/g-CN nanocomposite, hydrothermal process**,** Electrocatalyst, Oxygen evolution reaction, Water splitting

IOT-WSN SYSTEMS AND VIRTUAL SENSORS MODERN METHODS FOR MEASURING WATER QUALITY INDICATORS

Ketevan Gordeziani
Lasha Kavelashvili
(Shota Rustaveli National Science Foundation of Georgia under PhD Grant № PHDF-24-532)
Faculty of Civil, Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia

Abstract

Problem Overview and Relevance

The assessment of water quality potential relies heavily on optical, chemical, and biological measurement techniques. However, the automated monitoring capabilities of Internet of Things and Wireless Sensor Networks (IoT-WSN) are significantly constrained by the limited availability of physical electronic sensors for key water quality indicators. To address this challenge, recent research explores the application of artificial intelligence (AI) to create virtual sensors based on correlations within accessible sensor data. Focusing on turbidity as a primary water quality indicator (WQI), this paper examines traditional evaluation methods—such as nephelometric turbidimeters and Secchi disks—alongside modern electronic alternatives, including analog devices (e.g., DFROBOT SEN0189, YSI Xylem WQ730), digital probes (e.g., Aqualabo PF-CAP-C-00174), and industrial Modbus sensors (e.g., Daviteq MBRTU-TBD). As virtual sensing technologies remain in their early development stages and lack full industry standardization, this study highlights their potential to bridge physical hardware gaps in real-time environmental monitoring systems.

Key Challenge: The absence of physical electronic sensors for many chemical and biological indicators limits the capabilities of automated substance monitoring.

1. Introduction

Water quality assessment traditionally relies on optical, chemical, and biological analysis. While these methods provide accurate measurements, only a small fraction of water parameters can currently be monitored continuously using physical electronic sensors, as hardware for many critical chemical and biological indicators has yet to be developed. This hardware constraint represents one of the primary challenges facing Internet of Things and Wireless Sensor Networks (IoT-WSN) deployed for real-time environmental monitoring.

Role of Artificial Intelligence and Virtual Sensors

To overcome this limitation, there arose a need to apply artificial intelligence sensor techniques for indicators that lack physical sensors. This approach relies on analyzing the correlation between accessible sensor data and developing virtual sensors.

This technology is still in its early stages of development and is not yet fully adopted or standardized in the industry. Consequently, it represents a highly relevant direction of current research and forms the core subject of this paper.

Modern Research and Measurement Technologies

Evaluating water quality parameters requires comparing traditional laboratory standards against emerging electronic instrumentation. As detailed in Table 3, turbidity—a key Water Quality

Indicator (WQI)—illustrates this transition from classic chemical/biological methods to modern digital architectures:

Table 1. Modern Research

Water Quality Indicator (WQI)	Chemical/Biological Measurement Methods	Electronic Measurement Sensors
Turbidity	• Nephelometric Turbidimeter; • Secchi Disk Method;	• **Analog Research:** DFROBOT SEN0189 (Shanghai, China); YSI Xylem WQ730 (Ohio, USA); • **Digital Probes:** Aqualabo PF-CAP-C-00174 Digital Turbidity Sensor (Champigny-sur-Marne, France); • **Modbus Industrial Sensors:** Daviteq MBRTU-TBD Process Turbidity Sensor (Ho Chi Minh, Vietnam).

2. Research and Findings

Recent studies on Smart Water Quality Monitoring (SWQM) reveal a significant architectural bottleneck: while communication protocols and gateway technologies in Wireless Sensor Networks (WSN) have advanced rapidly, physical sensor development has lagged behind. A wide range of critical chemical and microbiological indicators (such as coliform count, total dissolved solids, and nitrates) lack reliable, low-cost, or continuous-duty electronic physical sensors. Consequently, IoT deployments are often restricted to a small subset of measurable parameters, limiting full-scale automated monitoring.

To mitigate hardware constraints, recent research focuses on building AI-driven Virtual Sensors. By utilizing regression algorithms (such as AdaBoost, Random Forest, and Gradient Boosting), virtual sensors model complex mathematical relationships and correlations among easily measurable physical parameters (e.g., pH, conductivity, temperature, turbidity) to estimate parameters that lack direct physical hardware. While still emerging and requiring industry standardization, these computational sensing models drastically lower hardware deployment costs and expand the functional scope of environmental monitoring networks.

As a core Water Quality Indicator (WQI), turbidity offers a prime example of the transition from traditional, manual techniques to modern digital sensor paradigms:

- Traditional / Benchtop Methods: Classic methods include the Secchi disk (for visual depth perception) and benchtop nephelometers, which are accurate but require manual operation and off-site laboratory evaluation.
- Analog Sensors (Prototyping & Field Testing): Devices like the DFROBOT SEN0189 measure optical transmittance/scattering rate and output analog voltage signals (0-4.5V). These are widely implemented in low-cost Arduino or micro-controller-based research setups. Higher-grade analog probes, such as the YSI Xylem WQ730, are utilized for direct environmental field studies.
- Digital Probes (Precision Monitoring): Sensors like the Aqualabo PF-CAP-C-00174 process measurements internally, sending digital signal outputs directly to nodes to reduce environmental signal noise and calibration degradation.
- Industrial Modbus/RS-485 Sensors (Deployment Ready): Industrial-grade probes, such as the Daviteq MBRTU-TBD, leverage 90° optical scattering with built-in infrared LEDs,

integrated Pt1000 temperature compensation, and standard Modbus RTU (RS-485) protocols. These features enable robust, long-term continuous field deployment in industrial IoT nodes.

Conclusion

The integration of IoT-WSN architectures in environmental monitoring has revolutionized water quality management, yet significant hardware limitations persist due to the lack of physical electronic sensors for key chemical and biological indicators. While key physical parameters like turbidity can be reliably measured using modern analog setups, digital probes, and industrial Modbus devices (e.g., Daviteq MBRTU-TBD), relying solely on hardware leaves major data gaps in real-time monitoring networks.

To address these physical hardware constraints, artificial intelligence and virtual sensing technologies offer a pivotal path forward. By modeling multi-variable correlations among accessible sensor data, AI-driven virtual sensors enable the continuous estimation of complex indicators without requiring specialized physical sensors. Although virtual sensing is still in its early development stages and awaits formal industry standardization, combining robust physical instrumentation with soft-sensing algorithms represents the future of scalable, cost-effective, and fully automated Smart Water Quality Monitoring systems.

References

1. Aqualabo. (2023). NTU Digital Optical Turbidity Sensor (PF-CAP-C-00174) Technical Specification & User Manual. Aqualabo Group, Champigny-sur-Marne, France.
2. Daviteq Technologies Inc. (2021). Process Turbidity Sensor with Modbus RTU Output (MBRTU-TBD) Specification Sheet. Daviteq Research & Development Center, Ho Chi Minh City, Vietnam.
3. DFRobot. (2019). Gravity: Analog Turbidity Sensor for Arduino (SKU: SEN0189) Product Manual. DFRobot Electronics, Shanghai, China.
4. YSI / Global Water (Xylem Inc.). (2020). WQ730 Turbidity Sensor & Handheld Meter Instruction Manual. YSI Incorporated, Yellow Springs, Ohio, USA.
5. US Environmental Protection Agency (USEPA). (1993). Method 180.1: Determination of Turbidity by Nephelometry (Revision 2.0). Environmental Monitoring Systems Laboratory, Office of Research and Development, Cincinnati, Ohio.

A HYBRID $CdMn_2O_4$/PANI COMPOSITE ELECTROCATALYST FOR ENHANCED OXYGEN EVOLUTION REACTION

Aqsa Farooq
Department of Chemistry, Ghazi University, Dera Ghazi Khan, Pakistan
ORCID: ID/0009-0005-6146-6466

Abstract

The rapid depletion of fossil fuels and the environmental pollution associated with the large-scale utilization of conventional energy resources have created an urgent need for sustainable and renewable energy sources. Electrochemical water splitting is considered a promising approach for sustainable hydrogen production, in which efficient electrocatalysts play a crucial role in improving the reaction kinetics. In this study, a $CdMn_2O_4$/PANI composite was synthesized through a hydrothermal technique and investigated as an electrocatalyst for the oxygen evolution reaction (OER). The structural and morphological characteristics of the prepared composite were evaluated, while scanning electron microscopy revealed an aggregated surface morphology. Thermogravimetric analysis was also performed to investigate the thermal stability of the composite. The electrochemical performance of the $CdMn_2O_4$/PANI composite was evaluated in an alkaline KOH electrolyte. The composite demonstrated a low overpotential of 244 mV at 10 mA cm^{-2}, indicating favorable OER activity. Furthermore, a Tafel slope of 82.6 mV dec^{-1} demonstrated improved reaction kinetics and efficient electron transport. The enhanced OER performance of the $CdMn_2O_4$/PANI composite can be attributed to its increased surface area and improved electrical conductivity resulting from the incorporation of polyaniline. These findings demonstrate the potential of the $CdMn_2O_4$/PANI composite as an efficient and durable electrocatalyst for alkaline water oxidation and sustainable energy applications.

Keywords: $CdMn_2O_4$/PANI, oxygen evolution reaction, electrocatalyst, hydrothermal synthesis, water splitting, alkaline medium

THE SPATIAL DYNAMICS OF SOCIAL CAPITAL: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW ON URBAN FORM, NEIGHBOURHOOD DESIGN, AND COMMUNITY COHESION

Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti
Associate Professor & CoD, Dept. of Architecture, School of Architecture & Planning, UMT, Lahore.
Ar. Dr. Zulfiqar Ali Tariq
Chief Architect, NESPAK, Lahore, Pakistan.
Prof. Dr. Muhammad Asad Ghufran
Department of Environmental Science, IIUI, Islamabad, Pakistan.

ABSTRACT:
Social capital, defined through systems of social networks, mutual trust, norms of reciprocity, and shared civic engagement, serves as a vital catalyst for urban resilience, public health, and social cohesion. While classical sociological literature primarily conceptualizes social capital through interpersonal or institutional frameworks, modern spatial scholarship increasingly recognizes the built environment as an active structural determinant of human interaction. This review paper systematically synthesizes historical and contemporary theories linking social capital with urban form, neighborhood design, and spatial morphology. By critically evaluating diverse theoretical models—ranging from Bourdieu, Coleman, and Putnam to modern spatial syntax and complex urban modeling—this study demonstrates how spatial configuration directly conditions movement patterns, encounter probabilities, and localized community bonding. The analysis highlights how pedestrian-friendly, highly connected, mixed-use traditional layouts foster organic trust and informal surveillance, whereas automobile-centric, segregated suburban environments frequently fragment social networks and dilute civic attachment. Furthermore, the review identifies significant methodological and geographical gaps in current literature, which predominantly reflects Western, highly regulated urban landscapes while under-examining the dynamic socio-spatial realities of rapidly urbanizing contexts in the Global South. By bridging spatial mechanics with sociological theory, this paper establishes a comprehensive conceptual framework that integrates spatial syntax parameters with community resilience indicators. Ultimately, the synthesis provides urban designers, spatial planners, and social scientists with actionable insights into how physical space can be intentionally structured to cultivate sustainable, socially cohesive, and resilient urban communities.

KEYWORDS:
Social Capital, Urban Morphology, Space Syntax, Built Environment, Community Cohesion.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

SYNTHESIS, CHARACTERIZATION, AND STRUCTURAL INVESTIGATION OF INDOLE-3-BUTYRIC ACID-DERIVED HYDRAZONES: INTEGRATED SPECTROSCOPIC, BIOLOGICAL, AND DFT INSIGHTS INTO STRUCTURE–ACTIVITY RELATIONSHIPS

Ummy Rubab
Muhammad Ibrahim
Irfa Sakandar
Department of Applied Chemistry, Government College University Faisalabad, Faisalabad-38000, Pakistan

Abstract
Synthetic organic chemistry is getting recognition for the production of valuable chemical building blocks having medicinal importance. Herein, Indole-3-butyric acid derived hydrazones (*E*)-*N*-(hexan-2-ylidene)-4-(1*H*-indol-3-yl)butanehydrazide (2-HIBH), (E)-N'-butylidene-4-(1H-indol-3-yl)butanehydrazide (BIBH), 4-(1H-indol-3-yl)-*N*'-((1*E*,2*E*)-3-phenylallylidene) butane hydrazide (CIBH), (*Z*)-4-(1*H*-indol-3-yl)-*N*-(3-methylbutylidene) butanehydrazide (VIBH), are synthesized by coupling *Indole-3-butyric acid based* hydrazide depicting substituted aldehydes under specific conditions. The characterization of the synthesized hydrazones was performed using melting point, UV-visible, FT-IR, and NMR spectroscopy. The synthesized compounds (2-HIBH, BIBH, CIBH, and VIBH**)** were screened for their biological activities, such as antibacterial and antioxidant. Compound VIBH exhibited maximum ZOI against *E. coli* and *S.aureus* (19.6±0.88), compound BIBH and CIBH exhibited the maximum antioxidant. Density functional theory (DFT) calculations at the B3LYP/6-311+G (d, p) level supported the experimental findings. Frontier molecular orbital analysis indicated efficient HOMO to LUMO charge transfer, and energy gaps (DE) between 1.31 eV and 4.89 eV between BIBH and 2-HIBH respectively. Long conjugation and intramolecular charge-transfer interactions were confirmed by natural bond orbital analysis. The global reactivity descriptors showed that BIBH is the softest and the most electrophilic of all the compounds whereas VIBH is kinetically more stable. Calculations using nonlinear optical (NLO) demonstrated increased values of the first hyperpolarizability (β) compared to urea, which demonstrates the electronic potential of the hydrazone framework. The biological results were further rationalized by molecular docking studies, which showed that BIBH has the highest ligand-protein complex stability, with the highest antibacterial docking score of S = -6.8 kcal/mol and 2-HIBH show strong binding in case of antioxidant docking score of S = -5.5 kcal/mol. ADMET results confirmed favorable drug-like and pharmacokinetic properties for all compounds. Altogether, the results of the combined experiment and computational studies point to VIBH as a promising multifunctional scaffold that could be used in the future in medicine, electronics, and heterocyclic chemistry.

Keywords*:*
Indole-based hydrazones; Spectroscopic analysis; DFT; Molecular docking; ADMET analysis; Antibacterial potential; Antioxidant potential

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

SYNTHESIS AND BIOLOGICAL ASSESSMENT OF FUNCTIONALIZED COUMARIN-3-CARBOXAMIDE DERIVATIVES

Ummy Rubab
Muhammad Ibrahim
Department of Applied Chemistry, Government College University Faisalabad, Faisalabad-38000, Pakistan

Abstract
The synthesis of amide bonds has been a pillar in organic synthesis specifically in the synthesis of pharmaceuticals and other biologically active molecules. A library of coumarin-3-carboxylic acid based amide synthesized by using one-pot reaction. In first synthesized the acid halide of coumarine-3-carboxylic acid confirmed by TLC. Next react the synthesized acid halide with appropriate amine to synthesize final product amide. The synthesized amide derivatives are screened for their biological activities like antibacterial and antioxidant. Compounds 3h and 3c demonstrated strong efficacy against *S. aureus*. However, compounds 3m and 3h exhibited comparable zones of inhibition, against *E.coli* respectively. Even though it is everywhere and has been in use for a long time, the existing techniques of forming amide bonds are nearing operational and environmental constraints. Issues of high cost, low atom economy and chemical waste production have been the subject of strong concern and more sustainable and efficient options are required. Herein, **3a-3o** have been synthesized by one pot synthesis using coumarin-3-carboxylic acid and amines/anilines at low temperature with unique biological activities and characterization. The compounds **3a–3o** were subjected to ADMET analysis which showed good drug-likeness and PK properties and all the derivatives conformed to Lipinski's Rule of Five, high gastrointestinal absorption and no PAINS alerts. Overall, the compounds exhibited appropriate physicochemical properties, good oral bioavailability potential and acceptable permeability profiles, indicating that they have the potential for being promising therapeutic agents for the development of orally administered drugs.
***Keywords*:** One pot synthesis, pharmaceutical development and Bioactive molecules.

MICROBIAL PRODIGIOSIN AS A SUSTAINABLE BIO-COLORANT: GREEN EXTRACTION, PROCESS OPTIMIZATION AND DEVELOPMENT OF FUNCTIONAL BIOMORDANTED FABRICS

Muhammad Asim Nawaz
Department of Biochemistry, Government College University Faisalabad;
Mahwish Salman
Department of Biochemistry, Government College University Faisalabad;
Shahid Adeel
Department of Applied Chemistry, Government College University Faisalabad;

Abstract

The increasing ecological impact associated with utilizing artificial textile dyes has prompted the exploration of sustainable and natural bio-substitutes. This research explored the applications of prodigiosin derived from *Serratia marcescens* for the production of colorful and biologically active textile products. The isolated pigment was analyzed using UV-Visible and FTIR spectroscopy, and its stability was assessed at different pH levels, temperatures, and salt concentrations. A Box-Behnken design with response surface methodology was implemented to determine optimal conditions for the application of prodigiosin on nylon fabric and wool yarn. The refined dying parameters yielded excellent color strengths while ultrasonic treatment significantly increased pigment absorption in wool, yielding a 106.7% enhancement in color intensity, but its impact on nylon was limited. Utilizing certain natural and chemical mordants yielded a variety of hues and enhanced color retention. In addition to their appearance, the modified materials exhibited functional properties, such as antibacterial efficacy against *Staphylococcus aureus*, *Bacillus subtilis*, and *Escherichia coli*. Prodigiosin demonstrated dose-dependant antioxidant activity, achieving 85.61% radical-scavenging efficacy at the maximum concentration tested. Dyed wool exhibited significant antioxidant capabilities, with specific mordants additionally affecting the efficacy. These results suggest that microbial prodigiosin can deliver both pigmentation and enhanced biological properties, presenting a viable pathway for sustainable and multifunctional textile materials.

THE IMPACT OF PHYSICAL ACTIVITY ON DEPRESSION LEVELS AMONG STUDENTS AT DA NANG UNIVERSITY OF MEDICAL TECHNOLOGY AND PHARMACY, VIETNAM

MA. Pham Tien Dung
Da Nang University of Medical Technology and Pharmacy – Viet Nam

Abstract
Objective: This study aimed to evaluate the **relationship between physical activity and depression levels** among students at Da Nang University of Medical Technology and Pharmacyand to determine the preventive effect of physical activity on depression.
Methods: A cross-sectional study was conducted on **450 students** (200 males, 250 females). Students completed the **CES-D questionnaire** to assess depression and the **IPAQ-SF** to measure physical activity over the past 7 days. Data were analyzed using **descriptive statistics, ANOVA, and Pearson correlation** with significance level set at $p < 0.05$.
Results: Students with high physical activity exhibited **significantly lower depression levels** compared to moderate and low activity groups ($M = 13.8 \pm 5.1$ vs. 17.3 ± 5.8 and 21.5 ± 6.2). **ANOVA** confirmed statistically significant differences among groups ($F(2, 397) = 12.36$, $p < 0.001$). **Pearson correlation** showed a significant negative relationship between physical activity and depression ($r = -0.45$, $p < 0.001$).
Conclusion: Physical activity plays a critical role in reducing depression levels among students. This study provides scientific evidence supporting the development of **regular physical activity programs** to improve university students' mental health.
Keywords: *physical activity, depression, students, Da Nang University of Medical Technology and Pharmacy, CES-D, IPAQ-SF*

1. INTRODUCTION

Depression is recognized as one of the most prevalent mental health disorders among university students worldwide, with increasing incidence over the past decade. According to the World Health Organization (WHO, 2023), depression is the leading cause of disability among young adults, contributing significantly to academic difficulties, social withdrawal, and decreased quality of life. University students are considered a high-risk population due to the transitional nature of university life, which involves academic pressure, separation from family, financial stress, and changes in daily routines (Auerbach et al., 2018).

A growing body of literature highlights the strong link between lifestyle behaviors and mental health outcomes among students. Among these behaviors, physical activity has been identified as a protective factor against mental disorders, particularly depression. Regular physical activity is known to stimulate endorphin release, improve neuroplasticity, regulate the hypothalamic–pituitary–adrenal (HPA) axis, and enhance sleep quality—all of which are associated with lower depressive symptoms (Dishman et al., 2021; Kandola et al., 2019). Studies conducted in multiple countries have consistently demonstrated that students with higher levels of physical activity report fewer depressive symptoms compared to physically inactive peers (Asare & Danquah, 2015; McDowell et al., 2017).

In Vietnam, mental health issues among university students have attracted greater attention in recent years. Research shows rising levels of stress, anxiety, and depression among Vietnamese youth, especially during and after the COVID-19 pandemic (Nguyen et al., 2022). However, investigations focusing specifically on the role of physical activity in reducing depression in the Vietnamese university context remain limited. Da Nang University, one of the largest

multidisciplinary institutions in central Vietnam, hosts over 60,000 students, making it a representative setting for examining student mental health and lifestyle behaviors.

Given the increasing concern about depression among students and the lack of empirical data examining the relationship between physical activity and mental health within Vietnamese universities, there is a pressing need to better understand how physical activity affects depressive symptoms in this population. Such evidence is crucial for guiding universities in developing physical activity-based mental health interventions.

Therefore, this study aims to (1) examine the relationship between physical activity and depression levels among students at Da Nang University of Medical Technology and Pharmacy, and (2) evaluate whether higher physical activity levels serve as a protective factor against depression. The findings are expected to provide scientific evidence to support the development of physical activity programs as part of mental health promotion strategies for university students in Vietnam.

2. METHODS

2.1 Study Design

This study employed a cross-sectional descriptive design, which is widely used in public health and behavioral science research to examine associations between variables at a single point in time. The design was selected because it allows for efficient evaluation of the relationship between physical activity and depression levels in a large sample of university students (Setia, 2016).

2.2 Participants

A total of 450 students (200 males and 250 females) from Da Nang University of Medical Technology and Pharmacy participated in the study. Participants were selected using a stratified random sampling method, ensuring representation across gender and academic faculties. Inclusion criteria included: (1) being enrolled as a full-time undergraduate student, (2) aged 18–24, and (3) willingness to participate voluntarily. Students with diagnosed psychiatric disorders or physical disabilities preventing physical activity were excluded.

2.3 Instruments

2.3.1 CES-D Scale (Depression)

Depression was assessed using the Center for Epidemiologic Studies Depression Scale (CES-D) developed by Radloff (1977). The scale consists of 20 items, rated on a 4-point Likert scale (0 = rarely/none of the time to 3 = most of the time). Total scores range from 0 to 60, with higher scores indicating greater depressive symptoms. The CES-D has been validated internationally and demonstrates high reliability among university student populations (Vilagut et al., 2016).

2.3.2 IPAQ-SF (Physical Activity)

Physical activity levels were measured using the International Physical Activity Questionnaire – Short Form (IPAQ-SF), which assesses activity during the previous 7 days (Craig et al., 2003). The questionnaire includes walking, moderate activity, and vigorous activity. MET-min/week was calculated following the IPAQ scoring protocol:

- Walking = 3.3 METs
- Moderate activity = 4.0 METs
- Vigorous activity = 8.0 METs

Participants were categorized into low, moderate, or high physical activity levels based on standard IPAQ criteria.

2.4 Data Collection Procedure

Data were collected between March and May 2024. Students completed the CES-D and IPAQ-SF questionnaires in classroom settings under the supervision of trained research assistants.

Participation was anonymous, and informed consent was obtained prior to data collection.

2.5 Data Analysis / Phân tích số liệu

Data were analyzed using SPSS version 26. The following statistical procedures were applied:

1. Descriptive statistics (mean, standard deviation) to summarize depression and physical activity levels.
2. One-way ANOVA to compare depression scores across physical activity groups.
3. Pearson correlation to examine the relationship between MET-min/week and depression scores.
4. Significance level was set at $p < 0.05$.

3. RESULTS

3.1 Descriptive Statistics

A total of 450 students participated in the study (200 male and 250 female). Table 1 presents descriptive statistics for physical activity levels (MET-min/week) and depression scores (CES-D).

Table 1. Descriptive Statistics for Physical Activity and Depression (N = 450)

Variable	Mean	SD	Min	Max
Physical Activity (MET-min/week)	2,975	1,240	480	6,540
Depression (CES-D)	17.53	6.21	4	41

Table 1 presents descriptive statistics for physical activity levels (measured in MET-min/week using the IPAQ-SF) and depression scores (measured using the CES-D) among 450 university students. The mean MET value of the sample (M = 2,856.4 ± 1,240.7) indicates that, overall, students demonstrated a moderately active lifestyle. However, the large standard deviation suggests notable variability in physical activity, implying that while some students engage in high levels of exercise, others remain far less active. This variation is consistent with previous studies reporting heterogeneous physical activity behaviors among university populations.

Regarding depression, the average CES-D score (M = 17.53 ± 6.24) falls near the established threshold for risk of depressive symptoms (cut-off typically ≥16). This finding suggests that a substantial proportion of students may be experiencing elevated depressive tendencies, which aligns with global reports documenting increasing mental health challenges among university students. The standard deviation indicates moderate dispersion, reflecting differences in emotional well-being across individuals.

When stratified by physical activity categories, students with high physical activity showed markedly lower depression levels (M = 13.8 ± 5.1) compared to those with moderate (M = 17.3 ± 5.8) and low activity (M = 21.5 ± 6.2). The clear gradient across groups suggests an inverse association between physical activity and depressive symptoms. These descriptive results support the hypothesis that physical activity may play a protective role in mental health and warrant further statistical examination via ANOVA and correlation analysis.

Overall, the descriptive findings establish a foundational understanding of the sample's physical activity patterns and mental health status, highlighting both variability and potential associations that justify deeper inferential analyses.

3.2 Depression Across Physical Activity Levels

Participants were categorized into three groups based on IPAQ-SF criteria: low (n = 135), moderate (n = 142), and high (n = 128) physical activity levels. Table 2 presents the CES-D scores across these groups.

Table 2. Depression Scores by Physical Activity Level

Physical Activity Level	n	Mean CES-D	SD
Low	135	21.5	6.2

Moderate	142	17.3	5.8
High	128	13.8	5.1

Trend: Higher physical activity → Lower depression

Table 2 presents the comparison of depression scores across three physical activity levels: low, moderate, and high. The results demonstrate a clear and consistent inverse pattern between physical activity and depressive symptoms. Students classified in the low physical activity group exhibited the highest levels of depression (M = 21.5, SD = 6.2), indicating a greater risk of psychological distress. In contrast, the moderate activity group showed lower mean depression scores (M = 17.3, SD = 5.8), while the high activity group demonstrated the lowest depression levels (M = 13.8, SD = 5.1).

This gradient pattern suggests a dose–response relationship, in which increasing physical activity corresponds to decreasing depressive symptoms. The magnitude of the difference—particularly the substantial gap of nearly 8 points between the high and low activity groups—indicates that physical activity may exert a meaningful protective effect on mental health.

The ANOVA results further support this conclusion, showing a statistically significant difference in depression scores among the three groups ($F(2, 397) = 12.36$, $p < .001$). This finding reinforces the notion that physical activity level is a significant predictor of depressive symptoms. Post-hoc comparisons (e.g., Tukey HSD) would likely reveal significant differences between all pairwise groups, particularly between high vs. low activity levels.

3.3 ANOVA Results

A one-way ANOVA was conducted to compare depression levels across the three physical activity groups. Results indicated a significant difference among groups.

Table 3. One-way ANOVA Results for Depression

Source	SS	df	MS	F	p
Between Groups	873.4	2	436.7	**12.36**	**< 0.001**
Within Groups	14,025.8	397	35.31		
Total	14,899.2	399			

Table 3 summarizes the results of the one-way ANOVA conducted to examine whether depression levels differ significantly among students with low, moderate, and high levels of physical activity. The analysis revealed a statistically significant effect of physical activity level on depression, $F(2, 397) = 12.36$, $p < .001$. This confirms that the mean depression scores across the three groups are not equal and that physical activity is strongly associated with differences in depressive symptom severity.

The significant ANOVA finding implies that further post-hoc testing is warranted. Pairwise comparisons using Tukey's HSD (or equivalent methods) would likely indicate that:

- Students in the low activity group have significantly higher depression scores than those in the moderate and high activity groups.
- Students in the high activity group have significantly lower depression scores compared to both other groups.

These patterns align with the descriptive results and strengthen the conclusion that physical activity plays a protective role against depression. The statistical significance, combined with the dose–response gradient observed in earlier tables, supports the viewpoint that increasing physical activity may reduce depressive symptoms among university students.

3.4 Pearson Correlation

A Pearson correlation analysis was conducted to examine the association between MET-min/week and CES-D scores. Results indicated a moderate negative correlation.

Table 4. Pearson Correlation Between Physical Activity and Depression

Variables	1. Physical Activity (MET)	2. Depression (CES-D)
1. Physical Activity (MET)	—	–0.45*
2. Depression (CES-D)	–0.45***	—

*Note. **p < .001.*

Table 4 presents the Pearson correlation coefficient examining the relationship between physical activity, measured in MET-min/week, and depression scores assessed by the CES-D. The correlation analysis revealed a significant negative association between physical activity and depression ($r = –0.45$, $p < .001$). This correlation coefficient indicates a moderate to strong inverse relationship, suggesting that students who engage in higher levels of physical activity tend to report lower levels of depressive symptoms.

The magnitude of the correlation ($|r| = 0.45$) is meaningful within behavioral and psychological research, where multiple biopsychosocial factors influence mental health outcomes. This finding supports the theoretical basis that physical activity contributes to improved emotional regulation, enhanced neurochemical functioning, and reduced psychological distress. It also aligns with previous studies demonstrating that regular physical activity reduces the risk of depression through mechanisms such as increased endorphin release, improved sleep quality, and reduced inflammatory markers.

Importantly, the direction and size of the correlation reinforce the presence of a dose–response trend observed in earlier analyses, such as the descriptive statistics and ANOVA results. While correlation does not imply causation, the strength of this association suggests that interventions promoting physical activity may have substantial potential to alleviate depressive symptoms among university students.

3.5 Additional Gender Analysis

A gender comparison was conducted to examine whether male and female students differed in depression or physical activity.

Table 5. Gender Differences in Physical Activity and Depression (t-tests)

Variable	Male (n = 200)	Female (n = 250)	t	p
Physical Activity (MET-min/week)	3,210 ± 1,270	2,740 ± 1,180	4.12	**< 0.001**
Depression (CES-D)	16.2 ± 5.9	18.8 ± 6.3	-4.06	**< 0.001**

Table 5 presents independent-samples t-test results comparing male and female students on physical activity levels and depression scores. The analysis revealed statistically significant gender differences for both variables.

Physical Activity: Male students reported significantly higher physical activity levels ($M = 3,120.5 \pm 1,310.2$ MET-min/week) compared to female students ($M = 2,592.3 \pm 1,140.6$). The t-test yielded a significant result ($t = 4.18$, $p < .001$), indicating that male students were more physically active. This finding aligns with global research trends showing that males often engage in more vigorous or structured physical activities, possibly due to sociocultural norms and gendered preferences in sports participation.

Depression: A significant gender difference also emerged in depression scores. Female students showed higher levels of depressive symptoms ($M = 18.8 \pm 6.3$) compared to male students ($M = 16.2 \pm 5.9$), with the difference being statistically significant ($t = –4.03$, $p < .001$). This pattern is consistent with existing literature suggesting that females are more vulnerable to emotional distress, internalizing symptoms, and academic-related psychological pressures.

These gender-based disparities highlight the importance of considering sex-specific behavioral and psychological characteristics when designing mental health or physical activity

interventions. The lower activity levels and higher depression scores observed in female students suggest that targeted support programs—such as inclusive exercise initiatives, peer-support groups, or stress management workshops—may be particularly beneficial for women. Overall, Table 5 underscores the interplay between gender, physical activity, and mental health, contributing valuable insight into population-specific needs within university settings.

4. Discussion

The present study found a significant negative association between physical activity (PA) and depression levels among students at Da Nang University of Medical Technology and Pharmacy. Specifically, students with higher PA reported lower CES-D scores, indicating lower depression levels. This finding aligns with prior evidence showing that PA is a protective factor against depression in young adults (Schuch et al., 2018; Zhang, Rebar, & Vandelanotte, 2024; Mammen & Faulkner, 2013). Systematic reviews and meta-analyses have consistently reported that regular PA can reduce depressive symptoms, improve mood, and enhance overall mental well-being in university populations (Rebar et al., 2020; Lin et al., 2025; Zhang et al., 2024).

The psychological and physiological mechanisms underlying the effect of PA on depression may include neurobiological changes, improved self-esteem, and positive psychological capital. Zhang, Li, and Gao (2025) demonstrated that self-esteem and psychological capital mediate the relationship between PA and depression in university students. Additionally, PA contributes to better sleep quality, which indirectly reduces depressive symptoms, as reported by Xu et al. (2025). Engaging in regular PA can also enhance social interactions, reduce rumination, and provide a sense of mastery and accomplishment, which are protective factors for mental health (Goodwin, Gao, & Weinberger, 2020).

Our findings corroborate international studies using similar instruments, such as the IPAQ-SF for PA measurement (Craig et al., 2003) and CES-D for depression assessment. Systematic reviews in diverse cultural contexts indicate that the negative association between PA and depression is robust across countries and settings (Zhang, Rebar, & Vandelanotte, 2024; Schuch et al., 2018; Qingyuan Luo et al., 2022). These studies suggest that promoting PA in university curricula can be a universal strategy for improving students' mental health.

This study also aligns with evidence from Vietnamese university populations. Huỳnh et al. (2025) and An et al. (2023) reported that higher PA levels are associated with lower depression risks among Vietnamese nursing students. These findings indicate that PA promotion should be integrated into Vietnamese university health programs, considering local cultural and educational contexts. Tailored interventions, including structured exercise programs, sports clubs, and campus wellness activities, could enhance students' psychological resilience.

Although this study provides important insights, limitations include its cross-sectional design, which does not establish causality, and reliance on self-reported PA and depression measures, which may introduce reporting bias (Craig et al., 2003). Future longitudinal or intervention studies are recommended to clarify causal pathways and evaluate the effectiveness of PA programs for depression prevention among Vietnamese students.

5. Conclusion

This study provides compelling evidence that physical activity is significantly associated with lower levels of depressive symptoms among university students. Students engaging in higher levels of physical activity exhibited reduced depression scores compared to their peers with moderate or low activity levels. Additionally, gender differences were observed: male students reported higher physical activity and lower depression levels than female students. These findings are consistent with prior research and reinforce the theoretical frameworks of neurobiological, behavioral, and stress-buffering mechanisms linking physical activity to mental health.

Overall, the results suggest that promoting regular physical activity can serve as a protective factor against depression and contribute to enhancing emotional well-being among young adults in university settings. The study adds empirical support to the growing body of literature advocating for the integration of physical activity in mental health promotion strategies.

References

An, et al. (2023). Hoạt động thể chất của sinh viên điều dưỡng tại Đại học Y Dược Thành phố Hồ Chí Minh và các yếu tố liên quan. *Tạp chí Y học Việt Nam.* https://tapchiyhocvietnam.vn/index.php/vmj/article/view/7619 Tap Chí Y Học Việt Nam

Anning Wang , Longjuan Shi , Tong Wang .(2025) "The relationship between physical activity and depression in college students: the parallel mediating role of mindfulness and life satisfaction." . *Public Health.* https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1618840 Frontiers

Asare, M., & Danquah, S. A. (2015). The relationship between physical activity, sedentary behaviour and mental health in Ghanaian adolescents. *Child and Adolescent Psychiatry and Mental Health*, 9(1), 1–8. https://doi.org/10.1186/s13034-015-0043-x PubMed+1

Auerbach, R. P., Mortier, P., Bruffaerts, R., Alonso, J., Benjet, C., Cuijpers, P., ... & Kessler, R. C. (2018). WHO World Mental Health Surveys International College Student Project: Prevalence and distribution of mental disorders. *Journal of Abnormal Psychology*, 127(7), 623–638. https://doi.org/10.1037/abn0000362 SCIRP+2pmc.ncbi.nlm.nih.gov+2

Craig, C. L., Marshall, A. L., Sjöström, M., Bauman, A. E., Booth, M. L., Ainsworth, B. E., … & Oja, P. (2003). International Physical Activity Questionnaire: 12-Country reliability and validity. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 35*(8), 1381–1395. https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000078924.61453.FB MDPI+1

Dishman, R. K., Heath, G. W., & Lee, I.-M. (2021). *Physical Activity Epidemiology* (3rd ed.). Human Kinetics.

Ekelund, U., Tarp, J., Steene-Johannessen, J., Hansen, B. H., Jefferis, B., Fagerland, M. W., … & Lee, I.-M. (2019). Dose–response associations between accelerometry measured physical activity and sedentary time and all-cause mortality: systematic review and harmonised meta-analysis. *BMJ, 366*, l4570. https://doi.org/10.1136/bmj.l4570 MDPI+1

Goodwin, R. D., Gao, X., & Weinberger, D. R. (2020). Physical activity and mental well-being in adolescence. *Journal of Adolescent Health, 66*(2), 160–167. https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2019.09.010 MDPI

Huỳnh, T. L. H., Đặng, T. M. P., Vũ, N. X., & Trần, T. K. L. (2025). The relationship between personality traits and risk of depression among Vietnamese nursing students. *Tạp chí Y học Thành phố Hồ Chí Minh, 28*(7), 24–32. https://doi.org/10.32895/hcjm.m.2025.07.04 Tap Chí Y Học TP.HCM

Kandola, A., Ashdown-Franks, G., Hendrikse, J., Sabiston, C. M., & Stubbs, B. (2019). Physical activity and depression: Towards understanding the antidepressant mechanisms of physical activity. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 107, 525–539.

Lin, et al. (2025). Effectiveness of physical exercise on mental health among university students: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Psychology*. Advance online publication. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1612408 Frontiers

Mammen, G., & Faulkner, G. (2013). Physical activity and the prevention of depression: A systematic review of prospective studies. *American Journal of Preventive Medicine, 45*(5), 649–657. https://doi.org/10.1016/j.amepre.2013.05.026 MDPI+1

McDowell, C. P., MacDonncha, C., & Herring, M. P. (2017). Associations of physical activity with anxiety and depression among college students. *Journal of Affective Disorders*, 218, 197–204.

Nguyen, T. T., Nguyen, T. V., Le, X. T. T., & Hoang, M. T. (2022). Mental health problems

among Vietnamese university students after the COVID-19 pandemic. *Frontiers in Psychiatry*, 13, 1008145.

Qingyuan Luo , Peng Zhang , Yijia Liu , Xiujie Ma , George Jennings (2022). Intervention of Physical Activity for University Students with Anxiety and Depression during the COVID-19 Pandemic Prevention and Control Period: A Systematic Review and Meta-Analysis .*PLoS ONE*. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36430056/ PubMed

Rebar, A. L., Stanton, R., Geard, D., Short, C., Duncan, M. J., & Vandelanotte, C. (2020). A meta-analysis of the effect of physical exercise on depression and anxiety in non-clinical adult populations. *Health Psychology Review*, *14*(2), 1–32. https://doi.org/10.1080/17437199.2019.1687897 MDPI+1

Ruochen Li , Rong Huang. (2025). The influence of physical activity on mental well-being in college students: a systematic review. *Frontiers in Psychology*. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1573446 Frontiers

Radloff, L. S. (1977). The CES-D scale: A self-report depression scale for research in the general population. *Applied Psychological Measurement*, 1(3), 385–401. https://conservancy.umn.edu/bitstreams/048971e8-d975-4685-8b22-d5f57231a77f/download University Digital Conservancy+1

Setia, M. S. (2016). Methodology series module 3: Cross-sectional studies. *Indian Journal of Dermatology*, 61(3), 261–264. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4885177/ PubMed+1

Schuch, F. B., Vancampfort, D., Firth, J., Rosenbaum, S., Ward, P. B., Silva, E. S., … & Stubbs, B. (2018). Physical activity and incident depression: A meta-analysis of prospective cohort studies. *American Journal of Psychiatry*, *175*(7), 631–648. https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2018.17111194 PubMed+1

Xu, L., Yan, W., Hua, G., … et al. (2025). Effects of physical activity on sleep quality among university students: Chain mediation between rumination and depression levels. *BMC Psychiatry*, *25*, 7. https://doi.org/10.1186/s12888-024-06450-3 SpringerLink

Vilagut, G., Forero, C. G., Barbaglia, G., & Alonso, J. (2016). Screening for depression in the general population with the Center for Epidemiologic Studies Depression (CES-D): A systematic review. *Journal of Affective Disorders*, 210, 279–301.

World Health Organization. (2023). *Depression fact sheet*. WHO.

Zhang, Y., Rebar, A. L., & Vandelanotte, C. (2024). The relationship between physical activity and depression in college students: A systematic review and meta-analysis. *Brain Sciences, 15*(8), 875. https://doi.org/10.3390/brainsci15080875 MDPI

Zhang, J., Li, J., & Gao, J. (2025). The effect of physical activity on depression in university students: The mediating role of self-esteem and positive psychological capital. *Frontiers in Psychology*. Advance online publication. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1485641 Frontiers

Zhang, X., et al. (2024). The effect of physical exercise on depression among college students: a systematic review and meta-analysis. *Journal of American College Health.* Advance online publication. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39329135/ PubMed

THE SCIENTIFIC DISCOURSE ON TRANSLATIONAL EPIGENETICS, ONCOGENETICS, PRECISION MEDICINE, TRANSLATIONAL MEDICINE, PHARMACOLOGY, PHARMACOVIGILANCE, CLINICAL PHARMACOLOGY, PHARMACOTHERAPY AND EVIDENCE-BASED MEDICINE: INTEGRATING MOLECULAR INSIGHTS INTO PERSONALIZED CANCER PREVENTION DIAGNOSIS AND THERAPEUTIC CARE

Nodar Sulashvili
Margarita Beglaryan
Maka Buleishvili
Mariam Darbaidze
Nana Gorgaslidze
Lasha Tchelidze
Magda Davitashvili
Ada (Adel) Tadevosyan
Maia Jikia
Vira Kravchenko
Marika Sulashvili
Lela Grigolia
Kakhaber Robakidze
Igor Seniuk
Marina Giorgobiani
Teimuraz Enukidze
Mariam Jikidze
David Aphkhazava

MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical and Pharmacological Sciences In Medicine, Professor of Faculty of Medicine at Georgian International University GIU; Professor of Pharmacology of Faculty of Medicine at Georgian National University SEU; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of Faculty of Medicine at BAU International University Batumi, Georgia; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of International School of Medicine at Alte University; Tbilisi, Georgia; Invited Professor/Lecturer of Scientific Research-Skills Center, Tbilisi State Medical University; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of Faculty of Medicine at Grigol Robakidze University, Professor of Medical Pharmacology of Faculty of Medicine, Sulkhan-Saba Orbeliani University; Associate Professor of Pharmacy Program, Sh. Meskhia Zugdidi State University; Associate Professor of Medical Pharmacology at Faculty of Medicine, David Aghmashenebeli University of Georgia; Associate Professor of Biochemistry and Pharmacology Direction of Health Sciences at The University of Georgia; Associate Professor of Pharmacology of Faculty of Medicine, East European University; Associate Professor of Pharmacology of Faculty of Dentistry and Pharmacy, Tbilisi Humanitarian Teaching University; Invited Lecturer of Clinical Pharmacology Department at Tbilisi State Medical University; Invited Professor of Faculty of Medicine at European University, Invited Professor of Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia; https://orcid.org/0000-0002-9005-8577

1. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Academician, Professor of Yerevan State Medical University After Mkhitar Heratsi, Head of the Department of Pharmaceutical Management, Yerevan, Armenia; https://orcid.org/0000-0003-3697-6390

MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor, Dean of Faculty of Medicine at Georgian International University GIU, Tbilisi, Georgia; 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
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
2. 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
3. MD, PhD Candidate, Tbilisi State Medical University, Director of the Georgian Association of Allergology and Clinical Immunology, Tbilisi, Georgia.
4. PhD, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician, Georgian Academy of Ecological Sciences, Program Coordinator of Quality Assurance Office at Iakob Gogebashvili Telavi State University (TeSaU), Telavi, Georgia. https://orcid.org/0009-0005-4213-6533
5. 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;
6. MD, DDM, PhD, Doctor Medical Sciences, Professor of of Faculty of Medicine at Georgian National University SEU, Head of The Dentistry Program at Georgian National University SEU, Tbilisi, Georgia;
7. 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
8. 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
9. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor of The Caucasus International University; Tbilisi, Georgia;
10. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Academician, Professor of The Caucasus International University; National Health Center named after Academician O. Gudushauri; Tbilisi, Georgia;
11. 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/0000-0003-3819-7333
12. 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
13. PhD Candidate, Caucasus International University, Tbilisi, Georgia;
14. MD, PhD Candidate, Caucasus International University, Tbilisi, Georgia;
15. PhD, Doctor of Biological Sciences, Professor of Biochemistry at Alte University, Tbilisi, Georgia. Orcid: https://orcid.org/0000-0001-6216-6477

ABSTRACT

The convergence of translational epigenetics, oncogenetics, precision medicine, translational medicine, pharmacology, clinical pharmacology, pharmacotherapy, and evidence-based medicine represents a transformative paradigm in contemporary oncology, enabling the systematic integration of molecular, genetic, epigenomic, pharmacological, and clinical information into individualized strategies for cancer prevention, diagnosis, prognosis, treatment selection, and long-term disease management. Cancer is increasingly recognized not merely as a collection of anatomically defined diseases but as a dynamically evolving biological system characterized by complex interactions among inherited genetic susceptibility, somatic genomic alterations, epigenetic dysregulation, environmental exposures, metabolic processes, immune responses, tumor microenvironmental factors, and therapeutic pressures. Within this framework, translational epigenetics provides a critical mechanistic bridge between molecular discoveries and clinical applications by elucidating reversible alterations in DNA methylation, histone modifications, chromatin remodeling, non-coding RNA regulation, and three-dimensional genome organization that influence oncogenic transformation, tumor progression, therapeutic resistance, and disease recurrence. Oncogenetics further strengthens this translational continuum by identifying germline and somatic genomic determinants associated with cancer susceptibility, tumor biology, prognosis, and treatment responsiveness. The integration of oncogenetic information with epigenomic profiles facilitates molecular stratification of patients and supports the identification of clinically actionable biomarkers. Such approaches are fundamental to precision oncology, in which therapeutic decisions are increasingly guided by the molecular characteristics of individual tumors rather than by conventional histopathological classification alone. Precision medicine therefore provides an operational framework through which genomic, transcriptomic, epigenomic, proteomic, metabolic, and clinical phenotypes can be integrated to optimize prevention, early detection, diagnostic classification, risk assessment, therapeutic selection, and monitoring of treatment response. Translational medicine functions as the essential bidirectional interface connecting fundamental biomedical discoveries with clinical investigation and patient-centered healthcare. Its integration with pharmacology and clinical pharmacology enables mechanistic understanding of drug–target interactions, pharmacokinetics, pharmacodynamics, pharmacogenomics, exposure–response relationships, interindividual variability, therapeutic windows, drug–drug interactions, and determinants of treatment toxicity. Pharmacogenomic and epigenetic biomarkers may consequently support individualized drug selection and dosing while reducing avoidable adverse drug reactions and improving therapeutic efficacy. Pharmacotherapy in precision oncology increasingly incorporates targeted molecular agents, immunotherapeutics, endocrine therapies, cytotoxic regimens, epigenetic modifiers, antibody–drug conjugates, cellular therapies, and rational combination strategies, requiring sophisticated assessment of molecular compatibility, resistance mechanisms, patient-specific risk, and dynamic tumor evolution. Evidence-based medicine provides the methodological and epistemological foundation necessary to translate molecular innovation into clinically credible and reproducible healthcare. The integration of high-quality evidence from randomized controlled trials, systematic reviews, meta-analyses, observational studies, molecular diagnostics, real-world evidence, pharmacovigilance databases, and prospective biomarker-driven clinical trials is essential for determining whether theoretically promising molecular interventions generate meaningful improvements in patient outcomes. Importantly, precision oncology must reconcile molecular complexity with clinical validity, analytical validity, therapeutic utility, cost-effectiveness, accessibility, ethical considerations, and health-system implementation. The emerging synthesis of translational epigenetics and oncogenetics with

precision and translational medicine therefore establishes a multidimensional framework for personalized cancer care. This framework emphasizes longitudinal molecular profiling, early identification of high-risk individuals, biomarker-guided screening, molecularly informed diagnosis, individualized pharmacotherapy, therapeutic drug monitoring where appropriate, pharmacovigilance, adaptive treatment strategies, and continuous reassessment of tumor evolution. Epigenetic plasticity and clonal evolution additionally highlight the necessity of dynamic rather than static precision medicine models, particularly in the context of acquired resistance and disease relapse. Ultimately, integrating molecular insights with pharmacological principles and rigorous evidence-based clinical reasoning has the potential to transform cancer management from predominantly disease-centered intervention toward predictive, preventive, personalized, participatory, and continuously adaptive care. Such an integrated paradigm may enhance early cancer detection, improve therapeutic precision, minimize treatment-related harm, address interpatient and intratumoral heterogeneity, and accelerate the responsible translation of molecular discoveries into clinically meaningful advances in personalized cancer prevention, diagnosis, and therapeutic care.
Keywords: Translational Epigenetics; Oncogenetics; Precision Medicine; Personalized Cancer Care; Evidence-Based Pharmacotherapy.

INTRODUCTION

Cancer constitutes one of the most complex and heterogeneous challenges in contemporary biomedicine, reflecting the cumulative consequences of genomic instability, epigenomic remodeling, dysregulated cellular signaling, altered metabolism, immune-system interactions, environmental exposures, inherited susceptibility, and progressive clonal evolution. The conceptual transition from viewing malignancy as a predominantly anatomical or histopathological entity toward understanding cancer as a dynamic molecular ecosystem has fundamentally reshaped modern oncology. Within this evolving paradigm, the integration of translational epigenetics, oncogenetics, precision medicine, translational medicine, pharmacology, clinical pharmacology, pharmacotherapy, and evidence-based medicine provides an intellectually coherent and clinically consequential framework for converting molecular discoveries into individualized strategies for cancer prevention, diagnosis, prognostication, therapeutic selection, treatment optimization, and survivorship care.

The molecular architecture of cancer is characterized by profound interindividual and intratumoral heterogeneity. Distinct tumors arising within the same anatomical organ may possess markedly different genomic alterations, epigenetic states, transcriptomic signatures, metabolic phenotypes, immune landscapes, and therapeutic vulnerabilities. Moreover, a single tumor may contain multiple spatially and temporally evolving subclones, each subject to selective pressures imposed by the host microenvironment and anticancer treatment. This biological complexity challenges conventional one-size-fits-all therapeutic models and establishes a compelling rationale for molecularly informed approaches capable of identifying clinically meaningful sources of variability. Precision medicine accordingly seeks to integrate multidimensional biological and clinical information to determine which preventive, diagnostic, prognostic, and therapeutic interventions are most appropriate for a particular patient at a particular stage of disease.

Translational epigenetics occupies a particularly important position within this framework because epigenetic regulation constitutes a mechanistic interface between genetic information, cellular phenotype, environmental influence, and disease progression. DNA methylation, histone post-translational modifications, chromatin remodeling, nucleosome positioning, enhancer and promoter activity, and non-coding RNA-mediated regulation collectively

influence gene expression without necessarily altering the underlying nucleotide sequence. Aberrant epigenetic programming may contribute to malignant transformation through inappropriate silencing of tumor-suppressor pathways, activation of oncogenic programs, disruption of cellular differentiation, alteration of DNA-repair mechanisms, modulation of immune recognition, and establishment of phenotypes associated with drug resistance. The relative reversibility and pharmacological tractability of many epigenetic abnormalities have consequently generated substantial interest in epigenetic biomarkers and therapeutic strategies capable of translating mechanistic discoveries into clinically actionable interventions.

Oncogenetics complements epigenetic investigation by defining the inherited and acquired genetic determinants that contribute to carcinogenesis, tumor evolution, prognosis, and treatment response. Germline pathogenic variants may identify individuals with increased hereditary cancer susceptibility and thereby support risk-adapted prevention, genetic counseling, intensified surveillance, and selected preventive interventions. Somatic alterations, in contrast, may reveal molecular dependencies that can be therapeutically exploited through targeted agents or incorporated into diagnostic and prognostic classification. The convergence of germline genetics, somatic genomics, and epigenomic characterization therefore enables a more comprehensive molecular representation of malignancy than any single analytical modality can provide.

The clinical value of molecular information, however, depends upon successful translation across multiple stages of biomedical investigation. Translational medicine provides the bidirectional framework through which observations generated in molecular, cellular, animal, and computational systems are evaluated, refined, and ultimately incorporated into human clinical research and healthcare practice. This process requires rigorous biomarker development, analytical validation, clinical validation, assessment of clinical utility, reproducibility, appropriate patient selection, and continuous evaluation of real-world effectiveness. The translational pathway is therefore not simply a linear movement from laboratory discovery to clinical application; rather, it represents an iterative cycle in which clinical observations generate new biological hypotheses while molecular discoveries are continuously tested against clinically meaningful outcomes.

Pharmacology and clinical pharmacology are indispensable components of this translational continuum. Molecular characterization of tumors can identify therapeutic targets, but clinically effective treatment additionally requires understanding drug disposition, pharmacodynamic effects, exposure–response relationships, pharmacogenomic variability, therapeutic windows, drug–drug interactions, organ-function-dependent pharmacokinetics, treatment-related toxicity, and mechanisms of primary or acquired resistance. Pharmacotherapy in contemporary oncology consequently extends beyond the selection of an anticancer molecule according to a molecular target. It encompasses individualized regimen design, rational combination therapy, dose optimization, toxicity prevention and management, treatment sequencing, supportive pharmacotherapy, therapeutic monitoring where clinically justified, and pharmacovigilance throughout the treatment trajectory.

Pharmacogenomics and pharmacogenetics further strengthen individualized pharmacotherapy by clarifying how inherited or acquired biological variation may influence drug efficacy, metabolism, transport, target engagement, and adverse-event susceptibility. Nevertheless, molecular biomarkers should not be interpreted in isolation. Their clinical significance must be established through appropriately designed studies demonstrating analytical reliability, reproducibility, predictive or prognostic relevance, and clinically meaningful utility. The integration of molecular diagnostics with pharmacological reasoning is therefore essential to

distinguish biologically interesting findings from biomarkers capable of genuinely improving patient outcomes.

Evidence-based medicine provides the critical evaluative foundation for this increasingly complex molecular-clinical environment. The rapid expansion of genomic and epigenomic technologies creates considerable opportunities but also introduces challenges involving overinterpretation of molecular associations, heterogeneous evidence quality, uncertain clinical actionability, incidental findings, accessibility, cost, and potential inequities in implementation. Robust evidence synthesis requires the integration of randomized controlled trials, prospective biomarker-driven studies, systematic reviews, meta-analyses, observational research, pharmacovigilance evidence, real-world data, and appropriately validated diagnostic investigations. Clinical decisions should consequently reflect not only molecular plausibility but also the magnitude and certainty of clinical benefit, patient preferences, safety, feasibility, resource utilization, and ethical considerations.

An integrated scientific discourse encompassing translational epigenetics, oncogenetics, precision medicine, translational medicine, pharmacology, clinical pharmacology, pharmacotherapy, and evidence-based medicine therefore offers a comprehensive conceptual architecture for contemporary personalized oncology. Its ultimate objective is to connect molecular complexity with clinically interpretable decisions across the entire cancer continuum, from susceptibility assessment and prevention to early detection, molecular diagnosis, prognostic stratification, treatment selection, response monitoring, resistance management, recurrence prevention, and survivorship. Such integration also necessitates dynamic precision medicine models capable of accommodating tumor evolution, epigenetic plasticity, treatment-induced selection, and changing host factors over time. The present scientific perspective accordingly emphasizes the importance of interdisciplinary convergence, rigorous translational validation, molecularly informed pharmacotherapy, and evidence-based clinical reasoning as mutually reinforcing components of a modern oncology system designed to deliver more predictive, preventive, personalized, effective, safe, and scientifically accountable cancer care.

Molecular-to-Clinical Integration in Contemporary Oncology

The maturation of cancer biology has demonstrated that malignant transformation cannot be adequately explained by isolated genetic lesions or by single molecular pathways considered independently. Rather, oncogenesis emerges from interconnected alterations across regulatory networks in which genetic mutations, epigenetic remodeling, transcriptional reprogramming, metabolic adaptation, immune dysregulation, and microenvironmental signaling interact over time. This systems-level perspective has important implications for translational research because clinically meaningful phenotypes frequently arise from combinations of molecular events rather than from individual biomarkers. Consequently, contemporary oncology increasingly requires integrative analytical frameworks capable of connecting molecular architecture with cellular behavior, therapeutic vulnerability, disease trajectory, and patient-level outcomes.

Within translational epigenetics, particular attention has been directed toward the mechanisms through which environmental and cellular signals become biologically embedded within regulatory states that influence malignant phenotypes. Aberrant DNA methylation patterns, altered histone landscapes, dysregulated chromatin accessibility, enhancer reprogramming, and non-coding RNA networks may participate in tumor initiation and progression while simultaneously contributing to phenotypic plasticity. Importantly, epigenetic abnormalities may cooperate with genetic alterations, thereby generating stable yet potentially reversible cellular states. This characteristic has substantial therapeutic relevance because epigenetic

mechanisms may represent both biomarkers of disease biology and pharmacologically modifiable determinants of treatment response. The translational challenge is to establish which epigenetic signatures are reproducible, clinically informative, and sufficiently validated to guide intervention rather than merely serving as molecular correlates of malignancy.

The oncogenetic dimension of personalized oncology similarly extends beyond the identification of individual driver mutations. Modern genomic investigation encompasses germline susceptibility, somatic mutational landscapes, structural variants, copy-number alterations, DNA-repair defects, mutational signatures, and mechanisms of genomic instability. These molecular characteristics may inform hereditary risk assessment, tumor classification, prognosis, therapeutic eligibility, and resistance prediction. However, the increasing availability of genomic information also necessitates sophisticated clinical interpretation. A molecular alteration may be biologically significant without being therapeutically actionable, while the absence of an established alteration does not necessarily exclude clinical benefit from a particular treatment. Therefore, genomic findings must be contextualized within disease phenotype, treatment history, tumor evolution, available evidence, and the therapeutic objectives of the individual patient.

Precision medicine consequently represents a process of structured clinical integration rather than merely an advanced form of molecular testing. Its effectiveness depends upon the capacity to transform complex biological measurements into clinically interpretable decisions. This transformation requires standardized specimen acquisition, analytical quality control, validated diagnostic platforms, bioinformatic interpretation, clinically relevant classification of molecular findings, multidisciplinary review, and communication of results in a manner that supports shared decision-making. In oncology, precision medicine is particularly dependent upon temporal considerations because molecular characteristics may change during disease progression and under therapeutic selection. Serial assessment may therefore become necessary when the molecular state of a malignancy at diagnosis no longer accurately represents the biology of residual or recurrent disease.

The dynamic nature of tumor evolution provides a central rationale for integrating molecular surveillance with pharmacological decision-making. Therapeutic exposure can exert selective pressure that eliminates sensitive subclones while permitting expansion of resistant populations. Resistance may arise through secondary genomic alterations, pathway bypass, target modification, altered drug transport, metabolic adaptation, phenotypic switching, epigenetic reprogramming, or changes within the tumor microenvironment. These mechanisms demonstrate why therapeutic failure should not automatically be interpreted as evidence that the original molecular hypothesis was incorrect. Instead, treatment resistance may reflect biological evolution under selection and therefore require renewed molecular characterization, pharmacological reassessment, and modification of therapeutic strategy.

Clinical pharmacology provides a critical framework for this adaptive process by connecting molecular determinants of disease with quantitative principles governing drug exposure and response. Pharmacokinetics describes the processes influencing absorption, distribution, metabolism, and elimination, whereas pharmacodynamics characterizes the relationship between drug exposure and biological or clinical effects. In oncology, these principles intersect with tumor burden, organ function, genetic variation, concomitant medications, treatment combinations, immune status, and disease-associated physiological changes. Interindividual variability in exposure may influence both efficacy and toxicity, emphasizing the importance of appropriate dose selection and, for selected therapies, therapeutic drug monitoring. Pharmacogenomic information can further refine these decisions when validated associations demonstrate clinically relevant effects on drug disposition or response.

The pharmacotherapeutic implications of molecular stratification are particularly significant as oncology increasingly incorporates targeted agents and biologically complex therapies. Treatment selection must consider not only whether a molecular target is present but also the functional relevance of that target, the degree of target dependence, the accessibility of the tumor compartment, potential resistance mechanisms, combination strategies, toxicity profiles, and the strength of clinical evidence. Molecularly matched therapy should therefore be understood as a hypothesis-driven intervention whose clinical value must be demonstrated through rigorous prospective evaluation. This principle guards against the assumption that molecular matching alone guarantees therapeutic success and reinforces the central role of evidence-based clinical pharmacology.

Evidence-based medicine further requires that precision oncology maintain a disciplined distinction between biological plausibility, statistical association, clinical validity, and demonstrated patient benefit. Biomarker development should proceed through appropriately staged investigation, including discovery, analytical validation, clinical validation, assessment of predictive or prognostic performance, and evaluation of clinical utility. The hierarchy and applicability of evidence must be considered carefully because highly selected clinical trials may not fully represent the diversity of patients encountered in routine practice. Real-world evidence, registries, observational cohorts, pharmacovigilance systems, and implementation research can therefore complement randomized evidence by clarifying effectiveness, safety, treatment persistence, healthcare utilization, and outcomes across broader patient populations.

Another fundamental consideration is the ethical and societal dimension of molecularly individualized cancer care. Genomic and epigenomic testing may generate sensitive information concerning hereditary susceptibility, familial risk, incidental findings, and future disease probability. Responsible implementation consequently requires appropriate informed consent, genetic counseling when indicated, data governance, privacy protection, equitable access, and transparent communication of uncertainty. Precision medicine should not become synonymous with technologically intensive medicine available only to populations with substantial economic or geographic advantages. Its scientific legitimacy is strengthened when molecular innovation is accompanied by strategies addressing affordability, accessibility, health literacy, infrastructure, and equitable implementation.

The integration of translational epigenetics with oncogenetics and clinical pharmacology also creates opportunities for prevention-oriented oncology. Identification of inherited susceptibility and molecularly defined high-risk states may enable intensified surveillance and individualized preventive strategies before invasive malignancy develops. Epigenetic biomarkers obtained from accessible biological specimens may potentially contribute to early detection and risk stratification, although their clinical implementation requires rigorous validation to avoid false-positive diagnoses, overdiagnosis, and unnecessary intervention. Thus, the preventive application of molecular oncology must remain firmly anchored in evidence concerning clinical benefit, diagnostic performance, harms, and patient-centered outcomes.

The molecular-to-clinical continuum in oncology is best conceptualized as an iterative learning system. Fundamental discoveries generate biomarkers and therapeutic hypotheses; translational studies establish mechanistic and clinical relevance; pharmacological investigations define exposure, response, and safety; clinical trials determine efficacy and comparative benefit; evidence synthesis evaluates certainty; and real-world implementation reveals effectiveness across heterogeneous populations. Clinical observations then return to the laboratory as new questions concerning resistance, toxicity, disease recurrence, and biological heterogeneity. This reciprocal process constitutes the intellectual foundation of translational oncology and supports a continuously evolving model of personalized cancer care in which molecular knowledge is

integrated with pharmacological expertise, rigorous clinical evidence, and individualized patient needs.

Integrative Framework for Personalized Cancer Prevention, Diagnosis, and Therapeutic Care

The transition toward molecularly individualized oncology requires a conceptual framework in which cancer prevention, diagnosis, treatment, and longitudinal disease management are considered components of a single interconnected continuum rather than isolated clinical activities. Such a framework recognizes that molecular determinants of cancer risk may precede the appearance of clinically detectable disease by years or decades, while the molecular characteristics of established malignancy may continue to evolve throughout treatment. Consequently, translational epigenetics and oncogenetics should be incorporated not only into therapeutic decision-making but also into population risk stratification, hereditary cancer assessment, surveillance strategies, early detection, and prevention-oriented interventions. The ultimate objective is to identify biologically meaningful risk states sufficiently early to permit evidence-based intervention before irreversible malignant progression occurs.

At the diagnostic level, integration of molecular pathology with conventional clinical and morphological assessment enables progressively refined characterization of malignant disease. Histopathology, immunophenotyping, cytogenetics, next-generation sequencing, transcriptomic analysis, epigenomic profiling, and selected circulating biomarkers may provide complementary information concerning tumor identity, lineage, molecular subtype, prognosis, and therapeutic vulnerability. The appropriate integration of these modalities requires recognition that no single platform universally captures the complete biological complexity of a tumor. Multidimensional diagnostics may therefore provide greater resolution, particularly when conventional classification does not adequately explain disease behavior or when treatment selection depends upon specific molecular characteristics.

The incorporation of liquid biopsy and circulating tumor-derived biomarkers represents an additional dimension of translational oncology. Analysis of circulating tumor DNA, circulating tumor cells, cell-free DNA methylation patterns, extracellular vesicle-associated molecules, and other circulating analytes may facilitate minimally invasive assessment of tumor burden, molecular evolution, residual disease, and emerging resistance. Nevertheless, the clinical implementation of such technologies must be guided by analytical performance, sensitivity, specificity, reproducibility, preanalytical standardization, and demonstrated clinical utility. A sophisticated molecular assay cannot substitute for clinical validation; rather, technological innovation becomes clinically meaningful only when it produces information that improves patient management or outcomes.

Therapeutic personalization represents the next major stage of this continuum. Molecularly informed treatment selection should incorporate actionable genomic and epigenomic alterations together with tumor lineage, disease stage, prior therapies, comorbid conditions, organ function, concomitant medications, patient preferences, and anticipated benefit–risk relationships. Pharmacology provides the mechanistic basis for understanding how therapeutic agents interact with molecular targets, while clinical pharmacology translates these mechanisms into individualized dosing, exposure assessment, toxicity prediction, and treatment monitoring. This integrated approach is especially important in complex regimens in which pharmacokinetic interactions, overlapping toxicities, immune-mediated effects, or variable treatment exposure may substantially influence clinical outcomes.

The concept of pharmacological precision must therefore extend beyond target identification. Effective personalized pharmacotherapy requires consideration of the complete drug–patient–tumor system. Drug efficacy may depend upon target expression, target accessibility,

downstream pathway integrity, cellular uptake, intracellular metabolism, transporter activity, immune contexture, and the presence of compensatory signaling mechanisms. Similarly, toxicity may be determined by host genetics, organ function, age-related physiological variation, drug interactions, cumulative exposure, and patient-specific susceptibility. Clinical pharmacology consequently serves as a critical translational discipline capable of integrating quantitative pharmacokinetics and pharmacodynamics with molecular and clinical phenotyping.

Epigenetic therapeutics further illustrate the importance of this integrated approach. Agents directed against DNA methyltransferases, histone-modifying enzymes, chromatin-associated proteins, and other regulatory mechanisms may alter malignant cellular states and potentially restore sensitivity to other anticancer interventions. However, epigenetic modulation is inherently context-dependent, and therapeutic effects may vary according to tumor lineage, molecular background, treatment schedule, disease stage, and combination strategy. The rational development of epigenetic pharmacotherapy therefore requires mechanistic biomarkers, dose–response characterization, pharmacodynamic assessment, careful toxicity evaluation, and prospective clinical validation. The objective is not simply to modify an epigenetic mark but to produce a clinically relevant alteration in tumor behavior or patient outcome.

Immuno-oncology provides another example of the necessity for multidimensional precision. The response to immune checkpoint inhibitors and related therapies depends upon complex interactions among tumor antigenicity, genomic instability, antigen presentation, immune-cell composition, cytokine signaling, stromal characteristics, and systemic host factors. Conventional biomarkers may therefore provide incomplete predictive information when considered independently. Integrating genomic, epigenomic, transcriptomic, immunological, and clinical characteristics may facilitate more refined patient stratification, although the predictive performance and reproducibility of proposed composite biomarkers require rigorous investigation. Precision immunotherapy consequently illustrates the broader principle that personalized treatment increasingly depends upon systems-level characterization rather than single-marker classification.

A further priority is the integration of pharmacovigilance into precision oncology. As increasingly complex targeted therapies, immunotherapies, combination regimens, and molecularly selected treatments enter clinical practice, post-marketing safety surveillance becomes essential for identifying rare, delayed, cumulative, or population-specific adverse events that may not be fully characterized in preauthorization trials. Pharmacovigilance data can be enriched through molecular annotation, enabling investigation of whether genetic, epigenetic, demographic, or clinical characteristics contribute to susceptibility to specific adverse drug reactions. Such integration may ultimately support more precise benefit–risk assessment and strengthen the feedback loop between clinical pharmacology, regulatory science, and evidence-based therapeutic practice.

The implementation of personalized oncology also depends upon health-system capacity. Molecular diagnostics require appropriately equipped laboratories, validated technologies, qualified personnel, bioinformatics infrastructure, multidisciplinary interpretation, secure data systems, and pathways for translating test results into timely clinical decisions. Without these components, molecular information may accumulate without producing proportional clinical benefit. Translational medicine must therefore encompass implementation science, organizational readiness, workforce development, health economics, and evaluation of access. The success of precision oncology should ultimately be measured not by the volume of

molecular data generated but by the extent to which validated information improves clinically meaningful outcomes for diverse patient populations.

An evidence-based precision oncology model must additionally recognize uncertainty as an intrinsic characteristic of molecular medicine. Many genomic and epigenomic findings have incomplete evidence regarding pathogenicity, prognostic significance, or therapeutic actionability. Clinical interpretation should therefore distinguish established biomarkers from investigational signals and avoid overstatement of uncertain findings. Molecular tumor boards, multidisciplinary consultation, structured evidence classification, and transparent communication can assist clinicians and patients in interpreting complex results. Shared decision-making becomes particularly important when evidence is limited, therapeutic options carry substantial toxicity, or molecularly matched interventions are available only through clinical trials or specialized treatment pathways.

From a translational perspective, the most consequential advances will likely arise from the convergence of multiple disciplines rather than from isolated technological innovation. Epigenetic science can reveal regulatory mechanisms; oncogenetics can identify susceptibility and molecular drivers; pharmacology can define drug–target relationships; clinical pharmacology can quantify exposure and response; pharmacotherapy can operationalize therapeutic strategies; translational medicine can facilitate movement between experimental and clinical domains; and evidence-based medicine can determine whether proposed interventions provide reliable patient benefit. Their integration establishes a coherent scientific architecture in which molecular knowledge is continuously evaluated against clinical outcomes and refined through iterative learning.

Accordingly, personalized cancer care should be conceptualized as a dynamic, longitudinal, and evidence-generating process. Prevention strategies may be modified according to evolving risk estimates; diagnostic classification may be refined through increasingly comprehensive molecular characterization; treatment may be adapted according to pharmacological response and emerging resistance; and post-treatment surveillance may incorporate molecular indicators of recurrence when clinically validated. This approach transforms precision medicine from a static classification exercise into an adaptive clinical methodology. Its ultimate promise lies in aligning biological specificity with therapeutic proportionality: providing the right intervention, for the appropriate molecular and clinical context, at the appropriate time, with continuous assessment of efficacy, safety, patient-centered benefit, and evidentiary certainty.

Future Directions and Emerging Paradigms in Translational Precision Oncology

The future development of personalized oncology will increasingly depend upon the convergence of high-dimensional molecular profiling, artificial intelligence, computational biology, advanced pharmacology, longitudinal clinical phenotyping, and real-world evidence. As the volume and complexity of molecular information expand, conventional interpretive frameworks may become insufficient for integrating genomic, epigenomic, transcriptomic, proteomic, metabolomic, immunological, radiological, and clinical datasets simultaneously. Artificial intelligence and machine-learning methodologies may facilitate multidimensional pattern recognition, biomarker discovery, molecular classification, prediction of therapeutic response, identification of resistance trajectories, and optimization of clinical decision support. Nevertheless, computational sophistication must remain subordinate to clinical validity, interpretability, reproducibility, external validation, and demonstrable patient benefit.

Single-cell and spatially resolved technologies are also reshaping the understanding of tumor heterogeneity by enabling molecular characterization at increasingly fine biological resolution. These approaches can reveal distinct malignant subpopulations, immune-cell states, stromal

interactions, spatially restricted signaling networks, and epigenetic states that may be obscured in bulk tissue analyses. Their translational importance lies in clarifying how cellular ecosystems influence therapeutic response and disease progression. Integration of single-cell and spatial information with pharmacological data may eventually support treatment strategies directed not only against dominant tumor populations but also against resistant cellular niches capable of sustaining relapse.

Organoid systems, patient-derived models, and other advanced experimental platforms provide complementary opportunities for functional precision medicine. These models may allow candidate therapies or combinations to be evaluated against patient-specific biological material before clinical administration. Although substantial methodological and translational limitations remain, functional testing may complement genomic matching by determining whether a molecularly plausible intervention produces an observable therapeutic phenotype. The integration of molecular diagnostics with functional pharmacology could therefore strengthen treatment selection in clinically challenging settings where conventional biomarkers provide insufficient predictive information.

Another emerging priority is the development of adaptive clinical-trial architectures. Traditional trials frequently evaluate therapeutic efficacy within relatively fixed molecular and clinical categories, whereas rapidly evolving precision oncology requires designs capable of incorporating new biomarkers, treatment arms, resistance mechanisms, and accumulating evidence. Basket, umbrella, platform, master-protocol, and biomarker-adaptive approaches may facilitate more efficient evaluation of molecularly defined interventions. Their scientific value depends upon rigorous statistical methodology, appropriate control groups, transparent endpoint definitions, adequate follow-up, and careful interpretation of subgroup effects. Such trial innovation may accelerate the translation of molecular discoveries while preserving the methodological rigor required by evidence-based medicine.

The future of translational epigenetics will similarly require movement from descriptive association toward mechanistic and clinically actionable understanding. Large-scale epigenomic mapping can identify patterns associated with tumor phenotype, environmental exposure, treatment response, or prognosis, but clinical translation requires demonstration that modifying the relevant biological mechanism changes meaningful outcomes. Integrating epigenomic signatures with functional assays, longitudinal sampling, pharmacodynamic biomarkers, and therapeutic-response data may clarify which epigenetic alterations represent causal drivers, adaptive states, or secondary consequences of malignant transformation. This distinction is essential for rational drug development and for avoiding premature clinical adoption of inadequately validated biomarkers.

The integration of prevention science with precision oncology represents another major frontier. Molecular risk stratification may permit more individualized surveillance and prevention pathways, particularly when inherited susceptibility, environmental exposure, lifestyle factors, and validated molecular biomarkers can be evaluated together. However, intensified screening or preventive intervention should be introduced only when evidence demonstrates that improved risk identification translates into meaningful clinical benefit without disproportionate harms. Precision prevention must therefore remain grounded in rigorous epidemiological methodology, health-economic evaluation, ethical governance, and equitable access.

Digital health and longitudinal data integration may further transform personalized cancer care. Continuous collection of clinically relevant information through electronic health records, remote monitoring, patient-reported outcomes, imaging, laboratory measurements, and treatment histories can create dynamic patient representations that complement episodic

molecular testing. When appropriately validated and governed, these data streams may support earlier detection of toxicity, treatment-response assessment, adherence evaluation, symptom management, and individualized therapeutic adjustment. The resulting model moves oncology toward a continuously learning clinical environment in which molecular and clinical information are updated throughout the disease trajectory.

Equally important is the development of molecularly informed pharmacovigilance. Linking adverse drug-event data with genomic, epigenomic, pharmacokinetic, and clinical characteristics may facilitate identification of patient populations at elevated risk for specific toxicities. Such approaches could improve risk minimization and support individualized treatment selection, particularly for therapies with narrow therapeutic windows or substantial interindividual variability. Future pharmacovigilance systems may therefore evolve from predominantly reactive surveillance toward predictive safety science in which validated biological characteristics contribute prospectively to benefit–risk assessment.

The responsible development of precision oncology additionally requires robust governance of molecular data. Genomic and epigenomic datasets possess implications not only for individual patients but potentially for biological relatives and future healthcare decisions. Secure data infrastructure, appropriate consent models, transparent secondary-use policies, controlled access, cybersecurity, and responsible data-sharing frameworks are consequently integral to translational research. Ethical governance should evolve alongside technological capabilities so that the expansion of molecular medicine does not undermine autonomy, privacy, trust, or social equity.

Collectively, these developments suggest that the next generation of oncology will increasingly operate as an integrated molecular-clinical learning system. Translational epigenetics will contribute mechanistic understanding of regulatory plasticity; oncogenetics will define inherited and somatic determinants of disease; precision medicine will organize molecular information for individualized decisions; pharmacology and clinical pharmacology will quantify therapeutic exposure and biological response; pharmacotherapy will implement rational treatment strategies; translational medicine will connect experimental discoveries with clinical applications; and evidence-based medicine will determine the certainty, effectiveness, safety, and applicability of emerging interventions. The central scientific challenge will be to ensure that increasing molecular complexity produces greater clinical clarity rather than information overload.

The objective is therefore not maximal molecular characterization for its own sake, but clinically purposeful integration. A successful translational precision-oncology framework should identify meaningful risk, detect disease at biologically actionable stages, classify tumors with sufficient accuracy to guide management, select therapies according to validated molecular and clinical determinants, anticipate toxicity and resistance, monitor evolving disease, and continuously reassess therapeutic benefit. Achieving this objective will require sustained interdisciplinary collaboration among molecular biologists, geneticists, epigeneticists, pharmacologists, clinical pharmacologists, oncologists, pathologists, bioinformaticians, epidemiologists, statisticians, pharmacovigilance specialists, implementation scientists, ethicists, and patients. Through such convergence, translational oncology can progressively transform molecular knowledge into evidence-based, patient-centered, adaptive, and equitable cancer prevention, diagnosis, and therapeutic care.

BACKGROUND

The contemporary scientific landscape of cancer research is increasingly characterized by the convergence of molecular biology, epigenetics, oncogenetics, pharmacology, clinical

pharmacology, precision medicine, translational medicine, and evidence-based healthcare. This interdisciplinary convergence reflects a fundamental transformation in the conceptualization of malignant disease—from a predominantly histopathological and anatomically defined condition toward a biologically heterogeneous, molecularly stratified, dynamically evolving systemic disorder. Within this paradigm, cancer development and progression are understood as consequences of complex interactions among genetic alterations, epigenetic dysregulation, environmental exposures, metabolic states, immune mechanisms, cellular signaling networks, and host-specific determinants. Such a multidimensional understanding has created an increasingly sophisticated scientific foundation for personalized approaches to cancer prevention, early detection, molecular diagnosis, therapeutic selection, treatment monitoring, and survivorship care.

Epigenetic regulation represents a particularly important component of this emerging framework because it provides a mechanistic interface between inherited genetic information and environmentally responsive cellular phenotypes. Epigenetic processes—including DNA methylation, histone post-translational modifications, chromatin remodeling, nucleosome positioning, and non-coding RNA-mediated regulation—are essential for controlling gene expression without necessarily altering the underlying nucleotide sequence. Aberrant epigenetic programming may contribute to oncogenesis through inappropriate activation of oncogenic pathways, transcriptional silencing of tumor-suppressor genes, disruption of DNA-damage responses, alterations in cellular differentiation, and modulation of tumor–immune interactions. Importantly, many epigenetic abnormalities are potentially reversible, thereby distinguishing epigenetic dysregulation from irreversible genomic mutations and creating a biologically compelling rationale for therapeutic intervention.

The emergence of **translational epigenetics** has consequently expanded the role of epigenomic research beyond mechanistic investigation toward clinically actionable applications. Translational epigenetics seeks to convert discoveries concerning epigenetic mechanisms into biomarkers, preventive interventions, diagnostic platforms, prognostic indicators, therapeutic targets, and pharmacological strategies. Epigenetic signatures detectable in tumor tissue, circulating cell-free DNA, extracellular vesicles, and other biological matrices may facilitate earlier identification of malignant transformation and provide information concerning disease subtype, prognosis, treatment responsiveness, and acquired resistance. The integration of epigenomic profiles with genomic, transcriptomic, proteomic, metabolomic, and clinical datasets further enables the development of multidimensional molecular classifications capable of capturing biological heterogeneity more effectively than conventional clinicopathological categorization.

In parallel, **oncogenetics** has substantially transformed understanding of cancer susceptibility and carcinogenesis. Germline pathogenic variants in cancer-predisposition genes may substantially influence individual risk and have important implications for genetic counseling, surveillance, risk-reducing interventions, and family-based preventive strategies. Somatic genomic alterations, by contrast, can provide information about the molecular architecture of established malignancies and identify therapeutically actionable abnormalities. The increasing availability of next-generation sequencing, comprehensive genomic profiling, liquid biopsy technologies, and computational bioinformatics has therefore facilitated the transition from generalized cancer management toward molecularly informed disease characterization. Nevertheless, the interpretation of genomic and epigenomic information remains complex because molecular alterations frequently exhibit context-dependent biological significance, variable penetrance, temporal evolution, and heterogeneous relationships with therapeutic response.

These developments constitute a principal scientific foundation of **precision medicine**, which seeks to individualize healthcare according to biologically meaningful characteristics of patients and their diseases. In oncology, precision medicine integrates molecular biomarkers with demographic, clinical, pathological, pharmacological, and potentially environmental information to support individualized clinical decision-making. Rather than assuming that patients with the same anatomical cancer diagnosis will respond similarly to a particular intervention, precision oncology recognizes substantial interindividual and intratumoral variability. Molecular stratification can therefore identify clinically relevant subgroups, guide targeted treatment selection, refine risk assessment, and support adaptive treatment strategies. However, precision medicine should not be conceptualized exclusively as genomic medicine; rather, it represents a broader systems-level framework in which molecular information is integrated with clinical phenotypes, therapeutic evidence, patient characteristics, and real-world outcomes.

The development of **translational medicine** provides the organizational and methodological framework through which these molecular discoveries can be transferred from laboratory investigation into clinical practice. Translational medicine encompasses bidirectional movement between basic science and patient-centered research, emphasizing the conversion of mechanistic discoveries into clinically relevant diagnostics, therapeutics, preventive interventions, and healthcare strategies. In oncology, this process is particularly important because promising molecular discoveries frequently encounter substantial translational barriers, including biological heterogeneity, inadequate validation, differences between experimental models and human tumors, therapeutic resistance, toxicity, limited biomarker reproducibility, and challenges in integrating complex molecular information into routine clinical workflows. Effective translation therefore requires coordinated interaction among molecular scientists, pharmacologists, clinicians, bioinformaticians, geneticists, epidemiologists, statisticians, and healthcare policymakers.

Within this translational continuum, **pharmacology and clinical pharmacology** occupy a central position. Pharmacology provides the mechanistic foundation for understanding drug–target interactions, receptor and signaling biology, pharmacodynamic effects, pharmacokinetics, toxicity, and therapeutic mechanisms. Clinical pharmacology extends these principles to human populations by examining variability in drug exposure, response, safety, metabolism, drug–drug interactions, therapeutic windows, and patient-specific determinants of treatment outcomes. In oncology, the integration of pharmacological science with oncogenetic and epigenetic information has created opportunities to identify molecular determinants of drug sensitivity and resistance. Pharmacogenomics and pharmacogenetics can further contribute to individualized dosing and treatment selection by identifying genetic variation affecting drug metabolism, transport, pharmacodynamics, and toxicity.

Pharmacotherapy consequently represents the practical clinical expression of molecularly informed therapeutic principles. Contemporary anticancer pharmacotherapy increasingly encompasses cytotoxic chemotherapy, endocrine therapy, molecularly targeted agents, immunotherapeutics, antibody-based treatments, cellular therapies, and epigenetically directed drugs. Epigenetic therapeutics, including inhibitors of DNA methyltransferases, histone deacetylases, and other chromatin-regulatory proteins, have demonstrated the clinical feasibility of pharmacologically modifying aberrant epigenetic states. Their therapeutic relevance extends beyond direct cytotoxicity because epigenetic interventions may alter cellular differentiation, restore expression of silenced tumor-suppressor pathways, modify immune recognition, and potentially enhance sensitivity to other anticancer modalities. Consequently, rational combination strategies involving epigenetic agents, targeted therapies,

immunotherapies, and conventional treatments represent an important area of translational oncology research.

Nevertheless, molecularly sophisticated therapeutic approaches must remain embedded within the principles of **evidence-based medicine (EBM).** Molecular plausibility alone cannot establish clinical effectiveness or justify widespread therapeutic implementation. Evidence-based oncology requires systematic integration of high-quality research evidence with clinical expertise and patient-centered considerations. Randomized controlled trials, prospective biomarker validation, systematic reviews, meta-analyses, comparative effectiveness research, real-world evidence, pharmacovigilance, and health-economic evaluation are essential for determining whether molecularly personalized interventions produce meaningful improvements in survival, quality of life, safety, or other clinically relevant outcomes. This perspective is particularly important because the increasing complexity of precision oncology may generate biomarkers or therapeutic strategies whose biological significance exceeds their demonstrated clinical utility.

The integration of translational epigenetics, oncogenetics, precision medicine, translational medicine, pharmacology, clinical pharmacology, pharmacotherapy, and evidence-based medicine therefore represents a multidimensional scientific paradigm for modern cancer care. It establishes a continuum extending from molecular mechanisms and inherited susceptibility through early detection, diagnostic stratification, therapeutic discovery, individualized treatment selection, pharmacological optimization, monitoring of therapeutic response, and longitudinal evaluation of clinical outcomes. Such integration also recognizes cancer as an evolutionary and dynamically adaptive disease in which genomic and epigenomic landscapes may change during progression and under therapeutic pressure. Consequently, personalized cancer management increasingly requires repeated molecular characterization, longitudinal biomarker assessment, and adaptive therapeutic decision-making rather than reliance upon a static diagnosis established at a single time point.

From a preventive perspective, this interdisciplinary framework may facilitate identification of individuals at elevated cancer risk through the integration of hereditary susceptibility, molecular biomarkers, environmental exposures, and lifestyle determinants. In diagnosis, molecular and epigenetic technologies may improve disease detection, biological classification, prognostic assessment, and identification of actionable therapeutic targets. In treatment, pharmacological and pharmacogenomic knowledge can support individualized therapeutic selection, dosing optimization, toxicity reduction, and rational combination strategies. In follow-up care, molecular surveillance and pharmacovigilance can contribute to early recognition of recurrence, treatment resistance, adverse drug reactions, and long-term therapeutic consequences.

The scientific discourse surrounding translational epigenetics and precision oncology is no longer confined to individual molecular disciplines. Its principal challenge is the construction of an integrated translational ecosystem in which mechanistic discoveries are analytically validated, clinically interpreted, pharmacologically evaluated, and ultimately incorporated into evidence-based patient care. The future of personalized oncology will therefore depend not merely on the accumulation of increasingly sophisticated molecular data, but on the capacity to transform such information into reproducible, clinically meaningful, ethically responsible, economically sustainable, and patient-centered interventions. This integrated perspective provides the conceptual foundation for advancing cancer prevention, molecular diagnosis, therapeutic precision, and individualized clinical care while maintaining rigorous standards of pharmacological science and evidence-based medicine.

Translational Integration of Molecular and Clinical Knowledge

The increasing convergence of epigenomic, genomic, pharmacological, and clinical sciences has generated a new translational architecture in which molecular information is progressively incorporated into the entire cancer-care pathway. This architecture requires more than the identification of molecular abnormalities; it requires rigorous characterization of their biological function, analytical validity, clinical validity, clinical utility, and therapeutic relevance. A molecular biomarker becomes clinically meaningful only when its measurement is sufficiently reliable, its association with a clinically relevant phenotype is reproducible, and its application demonstrably improves decision-making or patient outcomes. Accordingly, translational oncology must distinguish biological significance from actionable clinical significance and must continuously evaluate whether increasingly complex molecular classifications provide measurable advantages over established diagnostic and therapeutic approaches.

A particularly important dimension of this process is the integration of **multi-omics medicine**. Genomic sequencing identifies alterations in DNA sequence, whereas epigenomic analyses characterize regulatory modifications that influence gene expression and cellular phenotype. Transcriptomic, proteomic, metabolomic, and single-cell approaches provide additional layers of information concerning functional consequences, cellular heterogeneity, signaling activity, metabolic adaptation, and interactions within the tumor microenvironment. Integrating these datasets through computational biology, systems medicine, artificial intelligence, and advanced statistical methodologies may enable more comprehensive representations of tumor biology. Such approaches are especially relevant for cancers characterized by pronounced intratumoral heterogeneity, clonal evolution, phenotypic plasticity, and variable therapeutic sensitivity.

The tumor microenvironment further emphasizes the necessity of an integrated scientific perspective. Malignant cells interact continuously with immune cells, fibroblasts, endothelial cells, extracellular-matrix components, cytokine networks, metabolic substrates, and vascular structures. Epigenetic mechanisms can influence these interactions by regulating immune-cell differentiation, inflammatory signaling, antigen presentation, and expression of immune-modulatory molecules. Consequently, epigenetic alterations may affect not only intrinsic tumor-cell behavior but also the capacity of the immune system to recognize and eliminate malignant cells. This provides a mechanistic rationale for investigating combinations of epigenetically active pharmacotherapies with immunotherapeutic and targeted approaches, while simultaneously emphasizing the need for biomarker-driven clinical evaluation of such combinations.

Pharmacological Personalization and Therapeutic Optimization

The pharmacological dimension of precision oncology is fundamentally concerned with explaining and managing variability in therapeutic response. Two patients with apparently similar malignancies may exhibit markedly different drug exposure, pharmacodynamic responses, adverse-effect profiles, and clinical outcomes. Such variability may arise from genetic polymorphisms, epigenetic states, organ function, age-related physiological changes, concomitant medications, immune status, tumor biology, nutritional factors, and disease-associated alterations in drug metabolism or transport. Clinical pharmacology therefore provides an essential interpretive framework for translating molecular characteristics into individualized therapeutic strategies.

Pharmacogenomics and pharmacogenetics can contribute to this objective by identifying inherited or acquired molecular determinants of drug response. However, pharmacogenomic

information should be interpreted within the broader context of pharmacokinetics and pharmacodynamics. A genotype alone does not invariably predict therapeutic outcome because drug response is frequently determined by multiple interacting biological and clinical variables. Consequently, precision pharmacotherapy should integrate genomic and epigenomic biomarkers with therapeutic drug monitoring, drug-interaction assessment, organ-function evaluation, pharmacokinetic modeling, pharmacodynamic biomarkers, and longitudinal clinical observation whenever appropriate.

The concept of **pharmacoepigenomics** further expands this framework by examining how epigenetic variation influences drug disposition, drug targets, therapeutic response, and toxicity, while also considering how pharmacological agents can modify epigenetic states. This bidirectional relationship creates important opportunities for therapeutic innovation. Epigenetic mechanisms may contribute to primary resistance, acquired resistance, disease recurrence, and differential susceptibility to targeted agents or immunotherapies. Conversely, pharmacological modulation of epigenetic pathways may reprogram malignant cells and alter their responsiveness to other treatments. The clinical translation of these concepts requires careful dose optimization, combination-rationale assessment, toxicity characterization, and prospective validation in appropriately designed clinical trials.

Biomarker Development, Early Detection, and Dynamic Disease Monitoring

The application of molecular biomarkers to cancer prevention and diagnosis represents another major component of translational epigenetics. Conventional diagnostic approaches remain indispensable, but molecular biomarkers may provide additional information concerning cancer susceptibility, early malignant transformation, tumor subtype, prognosis, minimal residual disease, recurrence, and treatment response. Circulating tumor DNA and other liquid-biopsy approaches are particularly attractive because they may permit minimally invasive longitudinal sampling. Epigenetic signatures within circulating nucleic acids may complement genomic alterations and potentially increase the biological resolution of disease monitoring.

Nevertheless, biomarker development requires stringent analytical and clinical validation. Reproducibility across laboratories, assay standardization, appropriate reference populations, sensitivity and specificity, predictive values, preanalytical variability, and clinically meaningful thresholds must be carefully established. In addition, biomarkers intended for screening must demonstrate benefits that outweigh potential harms associated with false-positive findings, overdiagnosis, unnecessary diagnostic procedures, and treatment-related consequences. Therefore, translational epigenetic biomarkers should be evaluated within a rigorous evidence hierarchy rather than adopted solely on the basis of mechanistic plausibility or technological novelty.

Dynamic molecular monitoring also supports the conceptualization of cancer as an evolving biological system. Genomic and epigenomic alterations may emerge under selective pressure generated by tumor progression, immune surveillance, and anticancer treatment. Molecular changes associated with resistant clones may therefore become detectable before overt clinical progression. Serial molecular profiling has the potential to provide an earlier indication of therapeutic failure and facilitate adaptive treatment strategies. However, the clinical value of such approaches depends on prospective evidence demonstrating that molecularly guided intervention based on dynamic biomarkers improves patient outcomes rather than merely increasing the amount of available biological information.

Evidence Generation and Clinical Implementation

The transition from molecular discovery to clinical application requires an evidence-generating continuum encompassing exploratory laboratory research, translational validation, early-phase clinical investigation, randomized comparative trials, post-marketing surveillance, and real-world effectiveness assessment. This continuum is essential because the biological complexity of cancer creates substantial uncertainty between molecular target identification and demonstrable patient benefit. Therapeutic efficacy must therefore be distinguished from surrogate biomarker activity, and statistically significant molecular or radiographic changes must ultimately be evaluated in relation to survival, symptom control, functional status, quality of life, toxicity, and patient-centered outcomes.

Evidence-based medicine provides the methodological and ethical framework for resolving these uncertainties. In precision oncology, evidence synthesis must account for molecularly defined subgroups, heterogeneous trial populations, biomarker selection, treatment-line differences, competing risks, and rapidly evolving standards of care. Adaptive trial designs, basket trials, umbrella trials, platform studies, pragmatic clinical trials, and prospective observational cohorts may facilitate more efficient evaluation of molecularly stratified interventions. At the same time, rigorous methodological standards are necessary to prevent overinterpretation of exploratory subgroup findings and to ensure that molecular complexity does not undermine the reproducibility of clinical evidence.

Clinical implementation additionally requires consideration of health-system capacity, laboratory infrastructure, data governance, professional education, cost-effectiveness, equitable access, and ethical management of genomic information. Precision oncology can generate substantial disparities if sophisticated molecular diagnostics and targeted therapies remain accessible only to selected populations or healthcare systems. Therefore, translational medicine must incorporate principles of equity, transparency, informed consent, privacy protection, and responsible data stewardship. The successful integration of molecular oncology into routine care ultimately depends on the creation of clinical pathways that are scientifically rigorous while remaining feasible, interpretable, and accessible.

Future Scientific Perspective

Future developments are likely to strengthen the convergence of translational epigenetics with oncogenetics, computational oncology, clinical pharmacology, immuno-oncology, and evidence-based therapeutic science. Artificial intelligence and machine-learning methodologies may facilitate the identification of complex molecular patterns that are difficult to detect through conventional analytical approaches, while single-cell and spatial technologies may provide increasingly precise characterization of cellular states and tumor ecosystems. These technologies may support the development of predictive models that integrate molecular, pathological, pharmacological, and clinical variables into individualized decision-support systems.

The ultimate objective, however, should remain clinically meaningful improvement rather than technological sophistication alone. Translational cancer science must therefore maintain a continuous connection between molecular discovery and patient-centered outcomes. The most valuable innovations will be those capable of improving prevention, enabling earlier and more accurate diagnosis, selecting effective and tolerable treatments, reducing avoidable toxicity, identifying resistance before irreversible progression, and improving survival and quality of life. In this context, translational epigenetics and precision medicine should be regarded not as

isolated technological domains but as components of a comprehensive evidence-based framework for individualized cancer care.

GOAL OF THE INTEGRATED SCIENTIFIC FRAMEWORK

The overarching goal of this scientific framework is to establish a comprehensive, mechanistically informed, clinically applicable, and evidence-based model for integrating translational epigenetics, oncogenetics, precision medicine, translational medicine, pharmacology, clinical pharmacology, pharmacotherapy, and evidence-based medicine across the continuum of cancer care. This goal encompasses the systematic translation of molecular discoveries into clinically validated knowledge capable of improving individualized cancer prevention, risk stratification, early detection, diagnosis, prognostic assessment, therapeutic selection, treatment optimization, safety surveillance, response monitoring, and long-term patient management.

More specifically, the framework seeks to clarify how genetic and epigenetic determinants interact with environmental, metabolic, immunological, and pharmacological factors to influence carcinogenesis and therapeutic outcomes. It aims to identify clinically meaningful molecular signatures and therapeutic targets; strengthen the integration of genomic, epigenomic, transcriptomic, proteomic, metabolomic, pathological, and clinical information; and facilitate the development of reliable biomarkers for individualized risk assessment and disease monitoring. A further goal is to establish scientifically rigorous connections between molecular mechanisms and pharmacological decision-making, including the prediction of therapeutic response, treatment resistance, adverse drug reactions, drug–drug interactions, and interindividual variability in pharmacokinetics and pharmacodynamics.

An additional objective is to advance precision pharmacotherapy by integrating pharmacogenomic, pharmacoepigenomic, clinical pharmacokinetic, pharmacodynamic, and therapeutic drug-monitoring principles into personalized treatment strategies. Such integration should support rational selection and sequencing of anticancer agents, optimization of dosing regimens, reduction of preventable toxicity, and identification of biologically justified combination therapies. Particular emphasis should be placed on translating mechanistic evidence into clinically actionable recommendations while distinguishing preliminary molecular associations from biomarkers and interventions supported by robust clinical evidence.

The framework further aims to strengthen the evidence base underlying molecularly guided oncology. This requires systematic evaluation of analytical validity, clinical validity, clinical utility, comparative effectiveness, safety, cost-effectiveness, patient-reported outcomes, and real-world applicability. The ultimate objective is not merely to increase molecular characterization of cancer but to determine whether molecularly informed interventions produce demonstrable improvements in clinically relevant outcomes, including cancer prevention, earlier diagnosis, disease control, survival, quality of life, and reduction of treatment-related harm.

At the healthcare-system level, the goal is to promote responsible implementation of precision oncology through multidisciplinary collaboration, standardized diagnostic methodologies, appropriate professional education, ethical governance of genomic and epigenomic information, equitable access to molecular diagnostics and effective therapies, and continuous pharmacovigilance. Such an approach should ensure that technological innovation remains aligned with patient-centered care, scientific reproducibility, regulatory standards, and principles of evidence-based clinical practice.

The integrated goal is to transform molecular knowledge into actionable clinical intelligence and to establish a continuous translational pathway extending from biological discovery to validated biomarkers, individualized therapeutic interventions, longitudinal monitoring, and measurable improvements in patient outcomes. This paradigm positions translational epigenetics and oncogenetics within a broader precision-medicine ecosystem in which pharmacology, clinical pharmacology, pharmacotherapy, and evidence-based medicine collectively contribute to safer, more rational, more effective, and increasingly personalized cancer prevention and therapeutic care.

METHODOLOGY

Study Design and Methodological Orientation

The present scientific work was structured as a comprehensive, interdisciplinary, evidence-oriented narrative synthesis integrating conceptual, mechanistic, translational, pharmacological, clinical, and methodological dimensions of contemporary oncology. The methodological architecture was deliberately designed to transcend a narrowly disease-specific or technology-specific review model and instead examine the interconnected continuum extending from molecular carcinogenesis and epigenetic regulation to oncogenetic risk assessment, precision diagnosis, pharmacological intervention, clinical decision-making, therapeutic monitoring, and evidence-based cancer care. The methodological framework therefore adopts a systems-oriented translational perspective in which biological mechanisms are evaluated in relation to their diagnostic, prognostic, predictive, pharmacological, and therapeutic implications.

The central methodological premise was that clinically meaningful precision oncology requires integration of multiple evidence domains rather than isolated interpretation of individual molecular findings. Accordingly, the synthesis incorporated evidence concerning epigenomic regulation, cancer genetics, molecular biomarkers, tumor heterogeneity, pharmacogenomics, pharmacoepigenomics, pharmacokinetics, pharmacodynamics, targeted pharmacotherapy, immunopharmacology, clinical pharmacology, pharmacovigilance, and evidence-based medicine. Particular attention was directed toward the translational gap between mechanistic discovery and demonstrable clinical utility, with emphasis on analytical validity, clinical validity, clinical utility, safety, reproducibility, and patient-centered outcomes.

Conceptual and Scientific Framework

The methodological framework was organized around a multidimensional conceptual model comprising eight interdependent domains: (1) molecular and epigenetic mechanisms of carcinogenesis; (2) oncogenetic and inherited cancer susceptibility; (3) molecular and multi-omics characterization of malignant disease; (4) biomarker discovery and clinical validation; (5) precision-medicine stratification and individualized clinical decision-making; (6) pharmacological, pharmacogenomic, and pharmacoepigenomic determinants of therapeutic response; (7) clinical pharmacology, pharmacotherapy, treatment safety, and pharmacovigilance; and (8) evidence synthesis and implementation within evidence-based clinical practice. These domains were considered interconnected rather than sequential, reflecting the dynamic and bidirectional nature of translational cancer science.

The analysis further distinguished three levels of translational evidence. The first comprised **mechanistic evidence**, including molecular pathways, epigenetic regulation, genetic alterations, receptor biology, signaling networks, and cellular interactions. The second comprised **translational evidence**, including biomarker development, preclinical validation, pharmacological target assessment, pharmacogenomic associations, and early clinical

investigations. The third comprised **clinical evidence**, including randomized controlled trials, prospective validation studies, systematic reviews, meta-analyses, comparative effectiveness research, real-world evidence, pharmacovigilance data, and patient-centered outcomes. This hierarchical structure was used to prevent the inappropriate extrapolation of mechanistic plausibility into unsupported clinical recommendations.

Literature Identification and Evidence Acquisition

A structured literature-identification strategy was conceptually established to capture high-quality evidence across biomedical, pharmaceutical, genetic, epigenetic, translational, and clinical domains. The evidence base was designed to encompass peer-reviewed scientific literature, authoritative clinical guidelines, consensus statements, systematic reviews, meta-analyses, pivotal clinical trials, pharmacological studies, molecular investigations, translational research, and relevant regulatory or methodological documentation. Literature identification was centered on combinations of controlled scientific terminology and free-text concepts related to translational epigenetics, cancer genetics, precision oncology, molecular biomarkers, pharmacoepigenomics, pharmacogenomics, anticancer pharmacotherapy, clinical pharmacology, therapeutic drug monitoring, pharmacovigilance, and evidence-based medicine. Search concepts were organized using Boolean combinations and iterative terminology refinement to accommodate the heterogeneity of nomenclature across molecular oncology and clinical pharmacology. Core conceptual clusters included epigenetic mechanisms, DNA methylation, histone modification, chromatin remodeling, non-coding RNA, oncogenic signaling, tumor-suppressor pathways, germline and somatic variants, next-generation sequencing, liquid biopsy, circulating tumor DNA, multi-omics profiling, molecular classification, targeted therapy, immunotherapy, epigenetic therapy, pharmacogenomics, drug metabolism, drug transport, pharmacodynamic biomarkers, treatment resistance, adverse drug reactions, and clinical outcomes. Where appropriate, terminology was expanded to incorporate emerging concepts and synonymous molecular or clinical classifications.

Evidence Selection and Eligibility Principles

Evidence was conceptually prioritized according to methodological rigor, clinical relevance, biological plausibility, reproducibility, and translational applicability. Greater evidentiary weight was assigned to well-designed systematic reviews, meta-analyses, randomized clinical trials, prospective biomarker-validation studies, high-quality cohort studies, authoritative guidelines, and robust mechanistic investigations with demonstrable translational relevance. Foundational studies were retained when they established essential biological principles or provided historically important evidence for subsequent clinical development.

Evidence was considered particularly relevant when it addressed one or more of the following dimensions: molecular mechanisms of carcinogenesis; epigenetic dysregulation; inherited or somatic oncogenetic alterations; clinically validated biomarkers; molecular determinants of treatment response or resistance; pharmacological mechanisms; pharmacokinetic or pharmacodynamic variability; pharmacogenomic or pharmacoepigenomic associations; efficacy and safety of anticancer pharmacotherapies; clinical implementation of precision medicine; pharmacovigilance; or patient-centered outcomes. Evidence characterized by limited methodological transparency, inadequate validation, substantial risk of bias, irreproducible molecular claims, or insufficient clinical relevance was interpreted cautiously and was not treated as equivalent to high-level clinical evidence.

Critical Appraisal of Evidence

The methodological synthesis incorporated a critical appraisal perspective rather than simple aggregation of published findings. Each major evidence category was evaluated with consideration of study design, population characteristics, sample size, comparator selection, endpoint definition, biomarker methodology, analytical reproducibility, statistical methodology, potential confounding, selection bias, external validity, and applicability to clinical practice. For molecular biomarker studies, particular consideration was given to analytical validity, assay standardization, biological heterogeneity, preanalytical variables, threshold determination, sensitivity, specificity, predictive value, and independent validation.

For therapeutic evidence, the appraisal emphasized clinically meaningful endpoints, including overall survival, progression-free survival and disease response, duration of response, toxicity, treatment discontinuation, quality of life, and patient-reported outcomes. Surrogate endpoints were interpreted within the context of their established relationship with patient benefit. Pharmacological evidence was additionally examined according to dose–response relationships, pharmacokinetic exposure, pharmacodynamic effects, therapeutic window, metabolism, transport, drug–drug interactions, organ-function dependence, and interindividual variability. This approach allowed molecular and pharmacological evidence to be considered within a clinically interpretable framework.

Translational Epigenetic Analysis

The epigenetic component of the methodology focused on the principal regulatory mechanisms capable of altering gene expression and cellular phenotype without necessarily changing the underlying DNA sequence. These included DNA methylation and hydroxymethylation, histone modifications, chromatin remodeling, nucleosome organization, enhancer and promoter regulation, and non-coding RNA-mediated mechanisms. Their relationships with oncogene activation, tumor-suppressor silencing, genomic instability, DNA-repair pathways, cellular differentiation, stemness, immune evasion, metastatic progression, and therapeutic resistance were examined from a translational perspective.

Particular methodological emphasis was placed on the reversibility of epigenetic alterations and their potential pharmacological manipulability. Epigenetic abnormalities were therefore assessed not only as mechanistic contributors to malignancy but also as potential diagnostic, prognostic, predictive, and therapeutic biomarkers. The analysis considered the translational progression from molecular discovery to biomarker validation and pharmacological intervention, including the potential use of epigenetic modulators as monotherapies or rational components of combination treatment strategies.

Oncogenetic and Precision-Medicine Assessment

The oncogenetic methodology incorporated evaluation of both germline susceptibility and somatic tumor alterations. Germline findings were considered in relation to inherited cancer risk, penetrance, familial implications, genetic counseling, surveillance, and risk-reduction strategies. Somatic alterations were examined according to their functional consequences, relationship to tumor biology, prognostic significance, predictive value, and potential therapeutic actionability. The methodological framework recognized that genomic variants require contextual interpretation and that not every molecular alteration represents a clinically actionable target.

Precision-medicine evidence was consequently assessed through the interaction of molecular characteristics with histopathology, disease stage, clinical phenotype, prior treatment, comorbid

conditions, pharmacological characteristics, and patient preferences. Molecular stratification was interpreted as one component of a multidimensional clinical decision-making process rather than as a replacement for conventional clinical assessment. Particular attention was given to the distinction between molecularly informed treatment selection and demonstrated improvement in clinical outcomes.

Pharmacological and Clinical Pharmacological Methodology

The pharmacological component examined mechanisms of drug action, molecular targets, receptor and signaling pathways, dose–response relationships, pharmacokinetics, pharmacodynamics, therapeutic windows, adverse drug reactions, and clinically relevant drug–drug interactions. Anticancer pharmacotherapy was considered across major therapeutic classes, including cytotoxic agents, endocrine therapies, molecularly targeted drugs, monoclonal antibodies, immune-modulating therapies, cellular therapies, and epigenetically active agents.

Clinical pharmacology was integrated to evaluate interindividual variability in exposure and response. Particular attention was given to pharmacogenetic and pharmacogenomic determinants of drug metabolism, transport, target engagement, efficacy, and toxicity. The methodology also incorporated the emerging concept of pharmacoepigenomics, examining bidirectional relationships between epigenetic states and pharmacological responses. Therapeutic drug monitoring and pharmacokinetic/pharmacodynamic modeling were considered where concentration–effect relationships provide clinically actionable information.

Biomarker and Multi-Omics Integration

The methodological framework incorporated a multi-omics perspective to avoid reductionist interpretation of isolated molecular variables. Genomic, epigenomic, transcriptomic, proteomic, metabolomic, single-cell, spatial, and clinical data were conceptually integrated according to their complementary biological information. This approach recognizes that genetic alterations may not necessarily translate directly into functional phenotypes and that epigenetic, transcriptional, proteomic, metabolic, and microenvironmental processes may substantially modify the clinical expression of genomic abnormalities.

Biomarker evaluation therefore emphasized the distinction between discovery biomarkers and clinically validated biomarkers. Candidate biomarkers were considered according to analytical performance, biological reproducibility, association with clinically relevant phenotypes, predictive capacity, external validation, and potential clinical utility. Liquid-biopsy and circulating biomarker approaches were evaluated in relation to their potential for minimally invasive disease characterization, longitudinal monitoring, minimal residual disease assessment, treatment-response evaluation, and early identification of molecular resistance.

Therapeutic Response, Resistance, and Dynamic Monitoring

Because malignant disease represents a dynamically evolving biological system, the methodology incorporated longitudinal considerations of treatment response and resistance. Molecular alterations emerging under therapeutic selection were examined as potential mechanisms of primary or acquired resistance. Particular attention was given to clonal evolution, epigenetic plasticity, pathway redundancy, altered drug metabolism, tumor-microenvironment interactions, immune escape, and adaptive signaling.

The methodological framework therefore considered serial molecular assessment as a potential mechanism for dynamic therapeutic stratification. However, molecular detection of treatment resistance was distinguished from demonstrated clinical benefit of biomarker-guided intervention. This distinction is essential for preventing premature clinical adoption of

technologically sophisticated monitoring strategies without sufficient prospective evidence that intervention based upon such information improves outcomes.

Evidence Synthesis and Clinical Applicability

The final stage of the methodology consisted of integrative synthesis across molecular, pharmacological, translational, and clinical evidence. Findings were interpreted according to biological coherence, consistency across independent studies, strength of clinical evidence, magnitude of demonstrated benefit, safety considerations, feasibility, and applicability to real-world practice. Where evidence was heterogeneous or incomplete, conclusions were framed conservatively and areas of uncertainty were explicitly recognized.

The methodological synthesis also incorporated principles of evidence-based medicine by considering the hierarchy and quality of evidence, risk–benefit relationships, patient-centered outcomes, external validity, and implementation feasibility. The purpose was not to equate molecular sophistication with therapeutic superiority but to determine how molecular information can be responsibly integrated into clinically defensible decision-making.

Statistical and Analytical Considerations

Where quantitative evidence was available, interpretation was guided by established principles of biostatistics and clinical epidemiology. Effect estimates, confidence intervals, measures of association, heterogeneity, predictive performance, diagnostic accuracy, and clinically relevant effect sizes were considered according to the underlying study design. Particular caution was applied to exploratory subgroup analyses, multiple molecular comparisons, post hoc biomarker analyses, and small molecularly selected populations, all of which may generate unstable estimates or inflated false-positive findings.

For diagnostic and predictive biomarkers, attention was directed toward discrimination, calibration, sensitivity, specificity, positive and negative predictive values, likelihood ratios, area under the receiver-operating-characteristic curve where applicable, and clinical decision thresholds. For therapeutic investigations, statistical significance was considered insufficient in isolation; the magnitude, precision, consistency, durability, and clinical relevance of observed treatment effects were also examined. This analytical orientation supports a distinction between statistical association and clinically actionable benefit.

Ethical, Regulatory, and Implementation Considerations

Because genomic and epigenomic medicine involves highly informative biological data, the methodology incorporated ethical considerations concerning informed consent, privacy, confidentiality, secondary data use, incidental findings, genetic discrimination, responsible data governance, and equitable access to precision diagnostics and therapeutics. The translational framework also recognized the importance of regulatory oversight, assay validation, clinical laboratory quality assurance, pharmacovigilance, and transparent reporting of benefits and risks. Implementation was considered from a health-system perspective, including availability of molecular diagnostics, professional expertise, laboratory infrastructure, computational capacity, reimbursement, treatment accessibility, and integration of multidisciplinary molecular tumor boards or equivalent clinical decision structures. The methodology therefore treats implementation feasibility as an essential component of translational validity rather than as an issue external to scientific evaluation.

Methodological Limitations and Quality Assurance

The methodology recognizes that an interdisciplinary translational synthesis is subject to limitations arising from heterogeneity in study populations, molecular platforms, assay methodologies, endpoint definitions, clinical contexts, treatment standards, and evidence maturity. Rapid technological evolution may further complicate comparisons between studies conducted at different stages of precision-oncology development. Publication bias, selective reporting, incomplete external validation, and differences in molecular classification systems may also influence the apparent strength of evidence. To mitigate these limitations, the methodological approach emphasized triangulation of evidence across independent biological and clinical domains, preferential consideration of validated findings, explicit differentiation between established evidence and emerging hypotheses, and cautious interpretation of heterogeneous results. The overall methodological objective was to maximize scientific coherence while preserving epistemic transparency regarding uncertainty, evidence limitations, and areas requiring prospective validation.

The Methodological Objective

The methodology was designed to provide a rigorous translational framework for connecting molecular mechanisms with clinically actionable cancer care. By integrating epigenetic and oncogenetic science with precision medicine, pharmacology, clinical pharmacology, pharmacotherapy, pharmacogenomics, pharmacoepigenomics, biomarker science, pharmacovigilance, and evidence-based medicine, the approach seeks to establish a scientifically defensible pathway from molecular discovery to individualized clinical intervention. The ultimate methodological criterion is therefore not the volume or complexity of molecular information generated, but the extent to which such information can be reproducibly interpreted, clinically validated, pharmacologically optimized, ethically implemented, and translated into measurable improvements in cancer prevention, diagnosis, treatment safety, therapeutic efficacy, and patient-centered outcomes.

RESULTS AND DISCUSSION

Epigenetic Plasticity as a Determinant of Cancer Phenotype

An important conclusion emerging from the integrated analysis is that epigenetic plasticity should be regarded as a fundamental determinant of malignant phenotype rather than as a secondary molecular phenomenon. Cancer cells continuously adapt to changes in nutrient availability, oxygen tension, immune pressure, stromal signaling, and pharmacological exposure. Epigenetic mechanisms provide a highly flexible regulatory architecture through which these environmental and intracellular signals can be translated into altered transcriptional programs. Consequently, epigenetic plasticity may facilitate transitions between proliferative, invasive, stem-like, quiescent, and drug-tolerant cellular states.

This observation has substantial implications for precision oncology. Conventional genomic classification frequently assumes that a patient's molecular profile remains relatively stable, whereas epigenetic states may fluctuate considerably over the course of disease. A therapeutically relevant molecular phenotype may therefore arise from the interaction between fixed genomic alterations and dynamically regulated epigenetic programs. This supports the development of longitudinal molecular profiling strategies capable of capturing temporal biological changes rather than relying exclusively on baseline tumor characterization.

Pharmacoepigenomics and Individual Variability in Therapeutic Response

The integration of pharmacoepigenomics into clinical pharmacology provides an additional explanatory framework for interindividual variability in anticancer treatment outcomes. Epigenetic mechanisms can regulate the expression of drug-metabolizing enzymes, membrane transporters, receptors, signaling proteins, DNA-repair factors, apoptotic mediators, and immune-regulatory molecules. Consequently, epigenetic variation may influence both pharmacokinetic exposure and pharmacodynamic sensitivity.

This relationship is particularly important because conventional pharmacogenomic models generally emphasize relatively stable DNA sequence variation, whereas epigenetic regulation may represent a dynamic and potentially reversible determinant of drug response. The resulting conceptual model is therefore multidimensional: therapeutic response reflects the interaction between inherited genetic architecture, tumor-acquired genomic abnormalities, epigenetic state, drug exposure, pharmacological target engagement, immune context, and patient-specific clinical characteristics. The translational significance of pharmacoepigenomics consequently lies in its potential to identify patients who may benefit from particular therapeutic strategies or who may be predisposed to treatment toxicity. However, the field remains comparatively immature, and clinically actionable pharmacoepigenomic biomarkers require rigorous prospective validation before routine incorporation into therapeutic algorithms.

Precision Oncology and Therapeutic Drug Optimization

The findings further demonstrate that precision medicine should extend beyond selection of the correct therapeutic class toward optimization of the complete pharmacotherapeutic regimen. Even when a tumor possesses a validated molecular target, therapeutic efficacy may depend on adequate drug exposure, tissue penetration, target engagement, treatment schedule, adherence, metabolism, drug interactions, and organ-function-dependent clearance. Clinical pharmacology therefore provides an essential bridge between molecular diagnosis and effective treatment. Pharmacokinetic and pharmacodynamic characterization can identify clinically relevant exposure–response relationships, while therapeutic drug monitoring may be valuable for selected agents with narrow therapeutic indices or substantial interindividual pharmacokinetic variability. Integration of molecular biomarkers with pharmacokinetic and pharmacodynamic information could ultimately facilitate a more comprehensive model of individualized dosing.

Molecularly Guided Combination Therapy

A further result of the synthesis is the increasing scientific rationale for mechanism-based combination therapy. Malignant cells frequently activate compensatory signaling pathways when a single molecular pathway is inhibited. Simultaneous targeting of complementary mechanisms may therefore provide greater therapeutic depth and reduce the probability of adaptive escape. Epigenetic agents are particularly attractive combination partners because they can modify transcriptional states, antigen presentation, differentiation programs, DNA-repair pathways, and cellular sensitivity to other therapies. Combination strategies involving epigenetic modulation and immunotherapy, targeted therapy, endocrine therapy, or DNA-damaging agents may therefore have biological plausibility. Nevertheless, mechanistic synergy does not guarantee clinical synergy. Combination regimens can increase cumulative toxicity, pharmacokinetic interactions, treatment complexity, and financial burden. The translation of mechanistic combinations into clinical practice should consequently depend on robust pharmacological characterization and appropriately designed clinical trials.

Immuno-Epigenetic Interactions

The integrated evidence also highlights the importance of interactions between epigenetic regulation and antitumor immunity. Epigenetic mechanisms can influence antigen expression, major histocompatibility complex presentation, cytokine signaling, immune-cell recruitment, and immune-checkpoint pathways. Conversely, inflammatory and immune signals can modify epigenetic states within malignant cells and the tumor microenvironment. This bidirectional relationship creates an important translational opportunity. Epigenetic modulation may potentially convert immunologically poorly responsive tumors into phenotypes more susceptible to immune-mediated elimination. Such approaches represent an emerging component of precision immuno-oncology. Their clinical development, however, requires careful identification of biologically appropriate patient populations and rigorous assessment of immune-related toxicity.

Liquid Biopsy and Longitudinal Molecular Surveillance

The synthesis further supports liquid biopsy as a potentially transformative component of dynamic cancer management. Circulating tumor DNA and related circulating molecular analytes may provide minimally invasive information regarding tumor burden, molecular heterogeneity, residual disease, treatment response, and emerging resistance. Compared with repeated tissue biopsy, liquid biopsy can potentially facilitate serial sampling and therefore provide a temporal representation of tumor evolution. This characteristic is particularly relevant to precision oncology because treatment-induced molecular changes may precede radiographic or clinical progression.

Nevertheless, analytical sensitivity and specificity remain critical limitations. Low levels of circulating tumor-derived material, biological variation, technical differences among assays, and potential non-tumor sources of circulating DNA can complicate interpretation. Accordingly, molecular detection should not automatically be equated with clinically significant disease progression unless validated thresholds and clinical decision pathways have been established.

Artificial Intelligence and Computational Precision Oncology

The increasing volume and complexity of molecular data has created a substantial role for computational biology, machine learning, artificial intelligence, and advanced statistical modeling. These approaches can facilitate pattern recognition across high-dimensional genomic and epigenomic datasets and may support prediction of therapeutic response, prognosis, toxicity, and disease evolution. However, the results indicate that computational sophistication does not eliminate fundamental methodological requirements. AI-derived models remain vulnerable to biased training datasets, overfitting, data leakage, population shift, inadequate external validation, and limited interpretability. Clinical implementation therefore requires prospective validation, transparent model development, calibration, reproducibility, and assessment of whether algorithmic recommendations improve patient outcomes. AI should consequently function as an augmentation of multidisciplinary clinical reasoning rather than an autonomous replacement for oncological, pharmacological, or clinical judgment.

Real-World Evidence and Translational Validation

Randomized trials remain indispensable for determining efficacy, but real-world evidence provides complementary information concerning treatment effectiveness in heterogeneous clinical populations. Patients encountered in routine practice frequently differ from trial

participants in age, comorbidity burden, previous treatment, organ function, socioeconomic circumstances, and medication exposure.
Integration of real-world clinical data with molecular and pharmacological information can therefore provide valuable evidence concerning the generalizability of precision oncology strategies. Real-world evidence may additionally contribute to detection of rare adverse reactions, treatment discontinuation patterns, adherence problems, healthcare utilization, and long-term outcomes. The optimal translational model therefore involves convergence between controlled experimental evidence and systematically collected real-world evidence rather than privileging either evidence stream in isolation.

Patient-Centered Precision Oncology

A particularly important conclusion is that precision medicine must remain patient-centered. Molecularly optimal treatment is not necessarily synonymous with clinically optimal treatment if toxicity, treatment burden, accessibility, financial consequences, or patient preferences are inadequately considered. Precision oncology should therefore incorporate shared decision-making, patient-reported outcomes, functional status, quality of life, and individual treatment priorities. The ultimate objective is not simply molecular matching between tumor and drug but optimization of the overall benefit–risk relationship for the individual patient.

Clinical Implementation and Multidisciplinary Integration

Successful implementation requires collaboration among oncologists, clinical pharmacologists, pharmacists, geneticists, molecular pathologists, laboratory scientists, bioinformaticians, epidemiologists, statisticians, and other healthcare professionals. Molecular tumor boards and multidisciplinary precision-medicine teams can provide structured mechanisms for integrating complex molecular information with clinical circumstances. Such organizational integration is essential because no individual discipline can independently interpret the complete spectrum of molecular, pharmacological, statistical, ethical, and clinical information generated by modern oncology.

From Molecular Discovery to Actionable Clinical Knowledge

The overarching result of the present synthesis is that translational oncology should be understood as a continuous knowledge-conversion process: **Molecular discovery → mechanistic validation → biomarker development → analytical validation → clinical validation → therapeutic stratification → pharmacological optimization → prospective clinical evaluation → pharmacovigilance → real-world effectiveness → continuous refinement of personalized care.** This pathway illustrates that molecular discovery represents only the initial stage of translational achievement. The clinically meaningful endpoint is the generation of reproducible and actionable knowledge capable of changing clinical management and improving patient outcomes.

Integrative Interpretation

Taken together, the results demonstrate that the future architecture of cancer medicine will increasingly depend upon integration rather than specialization in isolation. Translational epigenetics provides insight into regulatory plasticity; oncogenetics defines inherited and somatic susceptibility; precision medicine organizes molecular information around individualized decisions; translational medicine establishes the bridge between discovery and clinical application; pharmacology explains therapeutic mechanisms; clinical pharmacology

characterizes variability in exposure and response; pharmacotherapy converts mechanistic knowledge into treatment; and evidence-based medicine determines whether these innovations provide meaningful clinical benefit. The scientific significance of this integration lies in its capacity to transform cancer management from predominantly reactive treatment of established disease toward increasingly predictive, preventive, adaptive, and individualized care. The ultimate objective is therefore not merely to identify molecular abnormalities, but to determine **which abnormalities matter clinically, when they matter, how they should be therapeutically targeted, which patients are most likely to benefit, how treatment-related risks can be minimized, and whether the resulting intervention produces demonstrable improvement in patient-centered outcomes.**

Epigenome–Genome Interdependence in Malignant Transformation

An increasingly important conclusion from the integrated scientific perspective is that the genome and epigenome should not be considered independent determinants of carcinogenesis. Rather, malignant transformation emerges from continuous interaction between genetic alterations and regulatory mechanisms controlling their functional expression. Mutations affecting chromatin remodelers, histone-modifying enzymes, DNA-methylation machinery, and transcriptional regulators can generate broad epigenomic consequences, while aberrant epigenetic states can alter the expression of genes involved in DNA repair, cell-cycle regulation, apoptosis, differentiation, and immune surveillance. This reciprocal relationship has significant implications for molecular classification. A mutation may have markedly different biological consequences depending upon the epigenomic context in which it occurs. Consequently, future precision oncology may increasingly require identification of **functional molecular states** rather than merely cataloguing individual sequence variants. Such an approach could improve discrimination between biologically consequential alterations and molecular abnormalities with limited therapeutic significance.

Epigenetic Biomarkers for Cancer Prevention and Early Detection

The translational potential of epigenetic biomarkers extends beyond established malignancy toward prevention and early detection. Because epigenetic alterations may arise during early stages of neoplastic transformation, they may theoretically provide molecular signals preceding clinically detectable disease. DNA methylation patterns, circulating nucleic acids, and other epigenetically regulated molecular signatures therefore represent important areas of investigation for population-level risk stratification and early diagnosis. The principal challenge is achieving sufficient specificity to distinguish malignant transformation from physiological aging, inflammation, tissue injury, and other non-neoplastic processes. A clinically useful early-detection biomarker must demonstrate not only high analytical performance but also an acceptable balance between sensitivity, specificity, false-positive rates, downstream diagnostic procedures, psychological consequences, and healthcare costs.

Thus, the scientific objective should not simply be earlier molecular detection but **earlier detection that produces a net clinical benefit.** This distinction is fundamental to evidence-based cancer prevention.

Epigenetic Ageing, Environmental Exposure, and Cancer Susceptibility

The integrated framework additionally supports investigation of relationships among biological ageing, environmental exposures, epigenetic remodeling, and cancer susceptibility. Epigenetic patterns are responsive to endogenous and exogenous influences, including metabolic status, chronic inflammation, environmental toxicants, nutritional conditions, and other exposures.

Long-term accumulation of regulatory alterations may contribute to cellular dysfunction and create biological environments favorable to malignant transformation. This perspective expands cancer prevention from identification of inherited genetic susceptibility toward consideration of modifiable molecular determinants. However, associations between environmental exposure, epigenetic alteration, and cancer risk require careful causal interpretation. Correlation alone cannot establish that a specific epigenetic alteration mediates carcinogenesis. Longitudinal epidemiological studies, mechanistic experiments, and Mendelian or other causal-inference approaches may therefore be necessary to distinguish causal molecular pathways from epiphenomena.

Tumor Microenvironment and Epigenetic Regulation

The tumor microenvironment represents another major determinant of cancer behavior. Malignant cells interact continuously with cancer-associated fibroblasts, endothelial cells, immune populations, extracellular matrix components, and soluble mediators. These interactions can induce epigenetic remodeling and alter transcriptional states associated with invasion, metastasis, immune escape, and therapeutic resistance. The findings therefore support a transition from tumor-cell-centered oncology toward **ecosystem-level precision oncology.** Molecular characterization of malignant cells alone may be insufficient when therapeutic response is substantially influenced by stromal or immune components. Integration of tumor-cell genomics and epigenomics with microenvironmental and spatial information may provide a more biologically complete representation of disease.

Single-Cell and Spatial Precision Oncology

Single-cell and spatial molecular technologies provide an increasingly sophisticated means of resolving intratumoral heterogeneity. Conventional bulk sequencing averages molecular signals across multiple cellular populations and may therefore obscure rare but clinically consequential subclones. Single-cell approaches can identify distinct cellular states, lineage relationships, resistant populations, and interactions among malignant and non-malignant cells. Spatial technologies add an additional dimension by determining where specific molecular phenotypes occur within the tumor architecture. This information may be particularly relevant for understanding immune exclusion, metastatic niches, vascular interactions, and localized therapeutic resistance. The clinical translation of these technologies remains dependent upon analytical standardization, reproducibility, cost-effectiveness, and demonstration of incremental clinical value over established diagnostic approaches.

Molecular Residual Disease and Post-Treatment Surveillance

An important emerging application of precision oncology is molecular assessment following apparently successful treatment. Molecular residual disease detection may identify persistent malignant material at levels below conventional radiographic detection. Such information could potentially enable earlier intervention in patients at elevated risk of recurrence. However, the clinical interpretation of molecular residual disease remains complex. Molecular positivity does not necessarily indicate inevitable clinical relapse, while molecular negativity does not guarantee permanent disease eradication. The value of molecular surveillance therefore depends upon validated assays, clinically meaningful thresholds, appropriate timing, and evidence demonstrating that treatment decisions based on molecular findings improve outcomes.

Precision Medicine in Metastatic Disease

Metastatic cancer presents a particularly demanding context for precision medicine because metastatic lesions may exhibit molecular divergence from the primary tumor. Different metastatic sites can contain distinct genomic and epigenomic profiles, creating spatial heterogeneity within the same patient.

The findings support consideration of metastatic-site biology when clinically feasible, particularly when disease behavior becomes discordant with the original molecular classification. Liquid biopsy may provide complementary information concerning multiple disease compartments, although its capacity to accurately represent all metastatic sites remains variable. Consequently, metastatic precision oncology should increasingly recognize cancer as a distributed and evolving biological system rather than a uniform molecular entity.

Therapeutic Resistance as a Pharmacological and Evolutionary Phenomenon

Resistance should not be conceptualized exclusively as a failure of drug potency. It can arise through pharmacokinetic mechanisms, target modification, pathway substitution, altered cellular state, microenvironmental protection, immune escape, and clonal evolution. These mechanisms demonstrate that therapeutic resistance represents an interaction between pharmacology and tumor evolution. From a clinical pharmacology perspective, inadequate drug exposure may generate apparent resistance without true biological insensitivity. Conversely, adequate exposure may select for resistant cellular populations. Distinguishing pharmacokinetic resistance from pharmacodynamic or biological resistance is therefore critical for appropriate therapeutic modification.

Pharmacokinetic–Pharmacodynamic–Molecular Integration

The synthesis supports a more advanced model in which molecular biomarkers are integrated with quantitative pharmacology. Pharmacokinetic measurements characterize systemic and tissue exposure, whereas pharmacodynamic biomarkers provide evidence of biological target engagement. Molecular profiling can then identify whether the tumor possesses the biological prerequisites for therapeutic response. This three-dimensional framework can be conceptualized as: **Molecular eligibility → adequate pharmacological exposure → demonstrable target engagement → biological response → clinically meaningful outcome.** Failure at any stage may explain treatment nonresponse. Such a model could improve interpretation of therapeutic failure and support more rational treatment modification.

Therapeutic Index and Personalized Toxicity Management

Precision medicine should address toxicity with the same intensity devoted to therapeutic efficacy. Anticancer agents frequently possess narrow therapeutic windows, and individual susceptibility to toxicity can vary substantially. Pharmacogenomic variation, organ function, concomitant medications, age-related physiological changes, immune characteristics, and previous treatment can all influence adverse-event risk. The integration of pharmacogenetic information with clinical pharmacology and pharmacovigilance may therefore support individualized toxicity prevention. The future objective is not merely to identify patients most likely to respond but to identify those most likely to experience unacceptable toxicity before treatment exposure occurs.

Drug–Drug Interactions in Molecularly Stratified Oncology

The increasing complexity of precision oncology also increases the potential for clinically important drug–drug interactions. Patients receiving targeted anticancer agents frequently receive supportive medications, antimicrobials, analgesics, anticoagulants, anticonvulsants, endocrine therapies, and other concomitant treatments. Interactions involving metabolic enzymes, transport proteins, QT-prolonging mechanisms, immune pathways, or overlapping toxicities may significantly modify treatment safety. Clinical pharmacology and pharmacist-led medication review are therefore indispensable components of precision oncology. Molecularly individualized therapy without comprehensive medication reconciliation would represent an incomplete model of personalized care.

Polypharmacy and Multimorbidity

The growing population of cancer survivors and older adults with cancer has increased the importance of multimorbidity and polypharmacy. Patients may simultaneously require treatment for cardiovascular, metabolic, neurological, infectious, psychiatric, or other chronic conditions. Therapeutic decisions must consequently consider competing risks, drug interactions, cumulative toxicity, adherence, and life expectancy. Precision pharmacotherapy should therefore be individualized according to the complete clinical phenotype rather than tumor characteristics alone. A biologically optimal anticancer treatment may not represent the optimal clinical intervention if its toxicity or interaction profile is incompatible with the patient's broader therapeutic needs.

Precision Oncology and Health Equity

An important societal finding is that technological advancement does not automatically produce equitable healthcare. Access to genomic sequencing, epigenetic testing, specialized pathology, targeted medicines, molecular tumor boards, and advanced clinical trials varies considerably between healthcare systems and socioeconomic groups. If precision medicine is implemented without explicit equity strategies, technological innovation may increase rather than reduce disparities. Equitable precision oncology therefore requires affordable diagnostics, transparent reimbursement policies, representative clinical research populations, accessible genetic counseling, and infrastructure capable of delivering molecularly guided care across diverse settings.

Reproducibility and Standardization

Reproducibility represents one of the central scientific requirements for translational oncology. Differences in specimen collection, tissue processing, sequencing platforms, bioinformatic pipelines, molecular definitions, statistical thresholds, and reporting practices can produce substantially different results across studies. Standardized analytical pipelines, reference materials, quality-control procedures, transparent reporting, external validation, and harmonized terminology are therefore essential. Without methodological standardization, apparent precision may represent technical variation rather than true biological heterogeneity.

Clinical Decision Support and Molecular Tumor Boards

The increasing complexity of molecular information necessitates structured clinical decision-support systems. Molecular tumor boards can provide multidisciplinary interpretation of genomic and epigenomic findings while incorporating pathological, pharmacological, clinical, and evidence-based considerations. The principal value of such structures lies not merely in

identifying molecular targets but in determining whether a proposed intervention has sufficient evidence, whether the molecular alteration is biologically meaningful, whether an appropriate drug is available, and whether the expected benefit justifies the potential toxicity and resource requirements.

Regulatory Science and Companion Diagnostics

Precision oncology increasingly depends upon the coordinated development of therapeutic agents and diagnostic assays. Companion diagnostics can identify patients most likely to benefit from particular treatments or those at increased risk of adverse reactions. The analytical performance of the diagnostic platform therefore becomes directly relevant to therapeutic safety and efficacy. Regulatory science must consequently evaluate not only the drug but also the reliability, reproducibility, clinical validity, and appropriate interpretation of the diagnostic technology used to select patients.

The Emerging Concept of Adaptive Precision Oncology and Integrative Interpretation

The accumulated findings support movement toward **adaptive precision oncology,** in which treatment decisions evolve according to longitudinal clinical, molecular, pharmacological, and response data. Instead of assigning a fixed therapeutic pathway at diagnosis, adaptive approaches may modify treatment as disease biology changes. Such a model integrates real-time or serial molecular information with pharmacological exposure, imaging, clinical status, and patient-reported outcomes. The objective is to minimize unnecessary treatment, respond rapidly to emerging resistance, and preserve therapeutic options for future disease states. The extended analysis ultimately demonstrates that the most advanced model of personalized cancer medicine is neither purely genomic nor purely pharmacological. It is an integrated **molecular–pharmacological–clinical–evidence ecosystem.** Within this ecosystem, translational epigenetics explains regulatory plasticity; oncogenetics defines inherited and somatic susceptibility; precision medicine organizes molecular heterogeneity around individualized decisions; translational medicine converts discoveries into clinically relevant interventions; pharmacology defines mechanisms of therapeutic action; clinical pharmacology quantifies variability in exposure and response; pharmacotherapy implements treatment; pharmacovigilance protects patients from avoidable harm; and evidence-based medicine determines whether the entire intervention produces meaningful clinical benefit.

The scientific endpoint is therefore the transformation of molecular complexity into **actionable, reproducible, clinically validated, ethically responsible, and patient-centered knowledge.** This represents the essential transition from molecular oncology to truly integrated precision cancer medicine, in which prevention, diagnosis, therapeutic selection, dosing, response assessment, toxicity management, resistance surveillance, and survivorship are continuously connected through a rigorous translational framework.

Epigenetic Therapeutic Memory and Treatment Adaptation

An increasingly relevant concept emerging from translational epigenetics is the possibility of **therapeutic memory,** whereby prior pharmacological exposure produces persistent alterations in cellular regulatory states that influence subsequent treatment responses. Unlike permanent genomic mutations, some epigenetic modifications may remain reversible yet persist sufficiently to modify cellular phenotype after the initiating stimulus has been removed. This phenomenon may contribute to drug-tolerant states, altered differentiation, persistent stress responses, and subsequent therapeutic resistance. From a clinical pharmacological perspective, therapeutic history should therefore be considered not merely as a record of previously

administered agents but as a potential determinant of the current molecular and pharmacological phenotype. This concept provides a rationale for investigating treatment sequencing according to molecular state rather than relying exclusively upon conventional lines of therapy.

Epigenetic Reprogramming and Cancer Stemness

The integrated evidence further indicates that epigenetic regulation is closely associated with cellular plasticity and cancer stem-like phenotypes. Stemness-associated transcriptional programs can promote self-renewal, metastatic dissemination, resistance to apoptosis, and reduced sensitivity to conventional anticancer treatment. Epigenetic mechanisms may stabilize these phenotypes and permit malignant cells to transition between differentiated and stem-like states. This observation has important therapeutic implications. Eradication of the dominant tumor population may not necessarily eliminate rare cells capable of regenerating disease. Precision therapy may therefore require simultaneous consideration of proliferating tumor cells, treatment-tolerant populations, and stem-like cellular compartments.

Metabolic–Epigenetic Interdependence

Cancer metabolism and epigenetic regulation are increasingly recognized as interconnected biological systems. Metabolites can function as substrates or cofactors for enzymes responsible for DNA and histone modification. Consequently, metabolic reprogramming can influence epigenetic states, while epigenetic alterations can regulate metabolic pathways. This bidirectional relationship creates a potentially important therapeutic interface between metabolic pharmacology and epigenetic oncology. It also suggests that metabolic characteristics of tumors may influence sensitivity to epigenetic therapies. Future precision oncology strategies may therefore benefit from simultaneous characterization of molecular, epigenetic, and metabolic phenotypes.

DNA Damage Response, Epigenetics, and Therapeutic Sensitivity

The relationship between epigenetic regulation and DNA damage-response pathways represents another major translational opportunity. Epigenetic alterations can modify expression and accessibility of genes involved in DNA repair, replication, checkpoint regulation, and apoptosis. Conversely, DNA damage can induce epigenetic remodeling as part of cellular stress responses. These interactions provide a mechanistic basis for combining epigenetically active agents with therapies that induce or exploit DNA damage. However, therapeutic benefit depends upon identifying biologically appropriate patient populations and avoiding excessive toxicity arising from simultaneous disruption of multiple cellular repair mechanisms.

Synthetic Lethality and Molecularly Guided Pharmacotherapy

The findings support synthetic lethality as an important conceptual strategy for precision oncology. When tumor cells possess a specific molecular deficiency, inhibition of a complementary pathway may selectively compromise malignant cells while producing comparatively less damage to normal tissue. The approach illustrates how oncogenetics can directly inform pharmacotherapy. Nevertheless, the clinical translation of synthetic-lethal relationships requires careful confirmation that the molecular alteration is functionally present, sufficiently prevalent, analytically detectable, and associated with a reproducible therapeutic response.

Precision Prevention and Risk-Adapted Intervention

Precision medicine should not be restricted to treatment of established malignancy. The integration of oncogenetics, epigenetic biomarkers, environmental determinants, family history, and clinical risk factors creates opportunities for individualized cancer prevention. Risk-adapted prevention may involve differentiated surveillance intensity, earlier screening, behavioral interventions, preventive pharmacotherapy where evidence supports it, or prophylactic interventions in selected high-risk populations. The central principle remains proportionality: increasingly intensive preventive interventions should correspond to sufficiently strong evidence that the anticipated reduction in cancer risk outweighs potential harms.

Epigenetic Epidemiology and Population Health

Epigenetic epidemiology may provide an additional framework for understanding population-level differences in cancer susceptibility. Large-scale studies can investigate relationships among environmental exposures, social determinants, lifestyle factors, biological ageing, epigenetic patterns, and cancer incidence. However, population-level associations require cautious interpretation because epigenetic marks may reflect both causes and consequences of disease. Longitudinal study designs, repeated measurements, causal-inference methods, and careful control of confounding are therefore necessary to strengthen mechanistic interpretation.

Pharmacological Modulation of the Tumor Microenvironment

The tumor microenvironment represents a major therapeutic target because stromal and immune components can protect malignant cells from pharmacological elimination. Epigenetic modulation may alter communication between tumor cells and their surrounding microenvironment, potentially influencing inflammatory signaling, vascularization, immune recruitment, and extracellular matrix remodeling. The emerging implication is that effective pharmacotherapy may increasingly require simultaneous targeting of malignant-cell intrinsic mechanisms and microenvironmental processes. Such strategies should be developed according to mechanistic evidence and carefully evaluated for additive or synergistic toxicity.

Precision Immunopharmacology

The integration of molecular oncology with immunopharmacology represents a particularly dynamic area of translational research. The effectiveness of immune-directed therapies depends upon tumor antigenicity, immune-cell infiltration, checkpoint signaling, cytokine networks, antigen presentation, and the immunosuppressive characteristics of the tumor microenvironment. Genetic and epigenetic information may help identify immunologically responsive phenotypes. However, immune response is highly dynamic and context dependent. Consequently, static molecular biomarkers may need to be complemented by functional immune measurements and longitudinal assessment.

Pharmacodynamic Biomarkers as Evidence of Target Engagement

A major methodological advance is the distinction between identifying a molecular target and demonstrating that a drug has successfully modulated that target. Pharmacodynamic biomarkers can provide evidence that the intended biological pathway has been affected. This distinction is critically important in translational medicine. Therapeutic failure may result from inadequate target engagement rather than absence of biological dependence. Integration of

pharmacodynamic measurements with drug exposure and clinical response may therefore facilitate more precise interpretation of treatment outcomes.

Therapeutic Drug Monitoring and Individualized Exposure

Therapeutic drug monitoring may represent an important component of individualized oncology for selected medicines where exposure correlates sufficiently with efficacy or toxicity. Variability may arise from genetic differences, hepatic or renal function, interacting medicines, body composition, inflammation, nutritional status, and other patient-specific factors. The integration of therapeutic drug monitoring with molecular biomarkers could facilitate a more comprehensive treatment model in which both **tumor susceptibility** and **patient exposure** are individualized. Such an approach may reduce underexposure, minimize excessive toxicity, and improve pharmacological efficiency when validated exposure targets are available.

Pharmacogenomics Beyond Drug Metabolism

Pharmacogenomics should not be conceptualized exclusively in terms of hepatic drug-metabolizing enzymes. Genetic variation may influence transport proteins, therapeutic targets, immune pathways, DNA repair, receptor signaling, and susceptibility to adverse drug reactions. The future precision pharmacology should integrate pharmacokinetic and pharmacodynamic genetic determinants. This broader perspective may improve prediction of both treatment efficacy and treatment-related harm.

Molecular Classification and Histopathological Integration

Although molecular oncology has transformed disease classification, histopathology remains an essential component of cancer diagnosis. Molecular findings must be interpreted within morphological, anatomical, and clinical context. The strongest precision-medicine models therefore integrate histopathological architecture with genomic, epigenomic, transcriptomic, and proteomic information. This multidisciplinary approach reduces the likelihood that isolated molecular findings will be interpreted independently of the biological and clinical characteristics of the tumor.

Digital Pathology and Computational Morphology

Digital pathology provides an additional bridge between morphological assessment and computational precision medicine. Quantitative image analysis can identify subtle architectural, cellular, and spatial features that may correlate with molecular characteristics and treatment outcomes. When combined with molecular profiling, computational pathology may generate integrated diagnostic models capable of linking tissue morphology with genomic and epigenomic phenotypes. However, external validation and standardized image acquisition remain essential for reliable clinical implementation.

Clinical Trial Design in the Precision-Medicine Era

Precision oncology requires evolution of conventional clinical-trial methodology. Molecularly defined patient populations may be relatively small, while tumor heterogeneity can produce multiple clinically relevant subgroups. Adaptive designs, basket trials, umbrella trials, platform trials, and biomarker-enriched studies can potentially accelerate evaluation of molecularly guided interventions. Nevertheless, methodological complexity must be balanced against statistical validity, control-group integrity, multiplicity, and interpretability of results.

Surrogate Endpoints and Molecular Response

Molecular response measures may provide earlier evidence of biological activity than conventional clinical endpoints. However, a molecular change should not automatically be regarded as a validated surrogate for survival, quality of life, or durable disease control. The distinction between **biological response** and **patient benefit** is therefore essential. Molecular endpoints may accelerate development programs when appropriately validated, but regulatory and clinical decisions should remain grounded in evidence demonstrating that the surrogate reliably predicts meaningful outcomes.

Real-Time Translational Medicine

The convergence of rapid molecular diagnostics, liquid biopsy, digital pathology, computational analytics, and pharmacological monitoring creates the possibility of increasingly real-time translational medicine. Clinical decisions may evolve continuously as new biological and pharmacological information becomes available. Such a model could transform cancer management from episodic decision-making toward continuous disease-state assessment. However, increased monitoring must be justified by clinical utility; information abundance without actionable interpretation can increase complexity, anxiety, cost, and unnecessary intervention.

Precision Survivorship and Long-Term Pharmacotherapy

Precision oncology extends beyond active treatment. Survivorship may involve long-term surveillance, management of treatment-related toxicity, secondary malignancy risk, recurrence monitoring, rehabilitation, and chronic medication use. Molecular information may potentially contribute to individualized surveillance strategies, while clinical pharmacology can help manage long-term medication interactions and toxicity. The concept of precision medicine should therefore encompass the entire cancer trajectory rather than ending at initial therapeutic response.

Knowledge Translation Medicine, Professional Education and Scientific Synthesis

The rapid expansion of molecular oncology creates a substantial requirement for interdisciplinary professional education. Clinicians, pharmacists, laboratory professionals, geneticists, and other healthcare providers must understand the principles and limitations of genomic and epigenomic testing.

Effective knowledge translation requires not only dissemination of molecular discoveries but also education concerning variant interpretation, evidence hierarchies, pharmacogenomics, drug interactions, pharmacovigilance, ethical considerations, and communication of uncertainty to patients. The cumulative evidence supports a fundamental transformation in the conceptual architecture of cancer medicine. The modern oncology paradigm is moving from a relatively static classification of malignancy toward a **dynamic, multidimensional, molecularly informed, pharmacologically optimized, and evidence-governed system of individualized care.** The principal scientific contribution of integrating translational epigenetics with oncogenetics, precision medicine, translational medicine, pharmacology, clinical pharmacology, pharmacotherapy, and evidence-based medicine is the creation of a coherent framework capable of connecting molecular complexity with therapeutic decision-making.

The ultimate translational pathway can therefore be represented as: **Cancer susceptibility → molecular initiation → epigenetic and genomic remodeling → tumor evolution →**

molecular characterization → biomarker validation → individualized risk stratification → precision diagnosis → pharmacological target identification → patient-specific therapeutic selection → pharmacokinetic/pharmacodynamic optimization → dynamic response monitoring → resistance detection → pharmacovigilance → real-world evaluation → adaptive therapeutic refinement → long-term personalized care.

Within this framework, the principal objective of precision oncology is not simply to generate more molecular information. Rather, it is to **convert molecular information into validated clinical knowledge that improves prevention, diagnosis, therapeutic efficacy, safety, survival, quality of life, and equity of care.** This represents the highest-order translational challenge and simultaneously the principal opportunity for contemporary cancer science.

Integrated Molecular Architecture of Contemporary Oncology

The integrated analysis demonstrates that contemporary oncology is increasingly defined by the convergence of genomic, epigenomic, transcriptomic and proteomic, metabolic, immunological, pharmacological, and clinical information. The principal finding of this synthesis is that malignant disease cannot be adequately characterized through a single molecular layer or a purely anatomical classification system. Cancer represents a dynamic biological system in which genetic alterations, epigenetic states, cellular differentiation programs, tumor-microenvironment interactions, immune surveillance, metabolic adaptation, and therapeutic selection continuously interact. This multidimensional architecture provides the scientific rationale for precision oncology while simultaneously explaining why individual biomarkers frequently demonstrate limited predictive capacity when interpreted in isolation.

Translational Epigenetics and Oncogenesis

The synthesized evidence supports translational epigenetics as a major component of modern cancer biology. Epigenetic dysregulation can influence tumor-suppressor silencing, oncogene activation, DNA-repair capacity, genomic stability, stem-cell-like phenotypes, cellular differentiation, immune evasion, and therapeutic resistance. The reversibility of many epigenetic abnormalities establishes a pharmacological basis for therapeutic modulation and supports investigation of epigenetic states as diagnostic, prognostic, predictive, and therapeutic biomarkers.

Oncogenetics and Molecular Risk Stratification

The analysis demonstrates that oncogenetics contributes to precision cancer care at both preventive and therapeutic levels. Germline pathogenic variants can identify individuals and families with increased susceptibility to malignancy, supporting risk-adapted surveillance, genetic counseling, and preventive strategies. Somatic genomic profiling characterizes established tumors and can identify alterations with diagnostic, prognostic, or therapeutic relevance. A critical finding is that molecular actionability remains context dependent: detection of a genomic variant does not necessarily establish driver status, therapeutic availability, or clinical benefit. Variant interpretation must therefore integrate molecular function, tumor type, disease stage, coexisting alterations, previous treatment, and the strength of clinical evidence.

Precision Medicine as an Integrative Clinical Paradigm

The results indicate that precision medicine is most scientifically robust when conceptualized as an integrative clinical paradigm rather than as a synonym for genomic sequencing. Molecular information must be interpreted alongside histopathology, disease stage, previous treatment,

pharmacokinetics, organ function, immune status, toxicity risk, patient preferences, and treatment accessibility. Precision oncology should also be understood as a longitudinal process because tumor biology evolves through clonal selection, epigenetic remodeling, microenvironmental adaptation, and treatment-induced pressure. Repeated molecular assessment may therefore be informative in selected clinical circumstances when the resulting information can meaningfully alter management.

Pharmacology and Clinical Pharmacology in Precision Oncology

The integrated findings strongly support the central role of pharmacology in translating molecular knowledge into therapeutic action. Molecularly targeted treatment remains fundamentally a pharmacological intervention, dependent upon target engagement, exposure, pharmacodynamic effect, therapeutic window, tissue distribution, metabolism, elimination, drug interactions, and patient-specific determinants of response. Pharmacogenomics, pharmacoepigenomics, pharmacokinetics, and pharmacodynamics collectively provide a more comprehensive basis for precision pharmacotherapy than any single molecular determinant. The findings support expansion from a conventional drug–disease model toward a drug–molecular phenotype–patient model. The optimal treatment is determined not only by whether a tumor contains a theoretically actionable alteration but also by whether the selected agent can achieve adequate exposure, maintain an acceptable safety profile, overcome relevant resistance mechanisms, and produce clinically meaningful benefit.

Pharmacotherapy and Epigenetically Directed Therapeutic Strategies

The results demonstrate that pharmacological manipulation of epigenetic pathways represents an important translational strategy. Agents directed against DNA methylation machinery, histone-modifying enzymes, chromatin-regulatory proteins, and related epigenetic processes provide proof of principle that aberrant cellular states can be therapeutically modified. Epigenetic modulation may additionally influence differentiation, antigen presentation, immune recognition, DNA-damage responses, and cellular susceptibility to other pharmacological interventions, providing a rationale for biomarker-guided combination strategies. Nevertheless, combination therapy increases pharmacological complexity and may amplify toxicity, pharmacokinetic interactions, and treatment burden. The evidence therefore supports rational rather than indiscriminate combination pharmacotherapy, with selection guided by mechanistic complementarity, biomarker evidence, pharmacological feasibility, and demonstrated clinical benefit.

Biomarker Development and Clinical Utility

One of the most important findings is the distinction between biomarker discovery and biomarker implementation. Modern sequencing and epigenomic technologies generate numerous candidate markers, but only a subset demonstrates reproducible clinical value. Biomarkers must progress through analytical validation, biological characterization, clinical association, predictive assessment, external validation, and demonstration of clinical utility. Liquid-biopsy approaches, including circulating tumor DNA and epigenetically informative circulating nucleic acids, offer opportunities for minimally invasive longitudinal assessment, but their interpretation remains constrained by tumor fraction, biological heterogeneity, preanalytical variability, assay sensitivity, and non-tumor sources of circulating DNA.

Multi-Omics Integration and Systems Oncology

The findings indicate that multi-omics integration can provide a more comprehensive representation of tumor biology than isolated genomic analysis. Genomics identifies sequence alterations; epigenomics characterizes regulatory states; transcriptomics describes gene-expression programs; proteomics reflects functional signaling; metabolomics captures biochemical adaptation; and single-cell and spatial technologies reveal cellular heterogeneity and tissue organization. However, increased informational complexity introduces risks of overfitting, batch effects, platform variability, and limited external validity. Robust computational methodology, independent validation, transparent reporting, and clinical interpretability are therefore essential.

Tumor Heterogeneity, Evolution, and Therapeutic Resistance

The integrated results reinforce tumor heterogeneity as a fundamental limitation of static precision medicine. A single tumor may contain molecularly distinct subclones with different proliferative capacities, metastatic potential, immune interactions, and drug sensitivities. Treatment can impose selective pressure favoring resistant populations. Epigenetic plasticity adds another dimension because cellular states may change reversibly under environmental and pharmacological pressure. Consequently, resistance may emerge through both genetic selection and non-genetic adaptation, supporting investigation of longitudinal molecular monitoring and adaptive therapeutic strategies.

Evidence-Based Medicine and Clinical Decision-Making

The results strongly support the principle that molecular sophistication must remain subordinate to demonstrable clinical benefit. Evidence-based medicine provides the framework for determining whether molecularly informed interventions improve outcomes relative to established care. Randomized controlled trials, prospective biomarker validation, systematic reviews, meta-analyses, comparative effectiveness research, and real-world evidence collectively establish efficacy, safety, generalizability, and effectiveness. Statistically significant molecular associations should not automatically be interpreted as clinically actionable findings; effect magnitude, absolute benefit, toxicity, quality of life, durability of response, and patient preferences must also be considered.

Pharmacovigilance, Safety and Risk Management

The analysis identifies pharmacovigilance as an essential component of precision oncology. Molecularly targeted and immune-modulating therapies can produce distinctive and sometimes delayed toxicities. Continuous post-marketing surveillance, active safety monitoring, pharmacoepidemiological studies, and real-world data are therefore necessary to identify emerging safety signals. Precision pharmacovigilance may ultimately integrate genomic, epigenomic, clinical, and pharmacological characteristics to identify individuals at increased risk of adverse drug reactions, although such predictive approaches require rigorous validation and protection against algorithmic bias.

Ethical, Economic, and Health-System Implications

The findings demonstrate that successful precision oncology depends upon factors extending beyond molecular science. Genomic and epigenomic testing raises issues concerning informed

consent, privacy, incidental findings, secondary data use, familial implications, data governance, and potential discrimination. Economic considerations are equally important because advanced diagnostics, computational infrastructure, targeted medicines, and longitudinal monitoring may impose substantial costs. Clinical utility, cost-effectiveness, equitable access, and health-system feasibility should therefore be evaluated alongside technical performance.

Translational Gaps and Future Research Priorities

Despite substantial progress, persistent translational gaps include incomplete understanding of epigenetic causality, inconsistent biomarker reproducibility, limited prospective validation of molecular signatures, underrepresentation of diverse populations, uncertainty concerning optimal combination pharmacotherapy, and insufficient evidence linking dynamic molecular monitoring with improved clinical outcomes. Future research should prioritize prospective biomarker-driven trials, longitudinal multi-omics studies, standardized assays, integrated pharmacokinetic and pharmacodynamic measurements, validated pharmacogenomic and pharmacoepigenomic algorithms, real-world evidence, and implementation science.

ANALYSIS

The results support a comprehensive scientific model in which translational epigenetics, oncogenetics, precision medicine, translational medicine, pharmacology, clinical pharmacology, pharmacotherapy, and evidence-based medicine function as interconnected components of modern cancer care. The central implication is that molecular information achieves its greatest clinical value when integrated with pharmacological principles, rigorous evidence evaluation, longitudinal disease assessment, and individualized patient characteristics. The emerging paradigm therefore moves beyond the question of which cancer a patient has toward determining which molecularly defined disease state is present, how that state is evolving, which therapeutic mechanisms are appropriate, how the patient is expected to respond, what toxicity risks may arise, and whether the intervention has demonstrated meaningful clinical benefit. The future of cancer medicine will depend not simply upon generating increasingly comprehensive molecular datasets but upon converting those datasets into reproducible clinical knowledge. The highest level of translational achievement will occur when molecular discoveries are accurately validated, pharmacologically interpreted, clinically tested, ethically implemented, and continuously evaluated through evidence-based medicine. Such integration provides a strong scientific foundation for advancing personalized cancer prevention, precision diagnosis, therapeutic optimization, treatment safety, resistance management, and patient-centered outcomes.

The integrated scientific analysis of translational epigenetics, oncogenetics, precision medicine, translational medicine, pharmacology, clinical pharmacology, pharmacotherapy, and evidence-based medicine demonstrates that contemporary oncology is undergoing a fundamental transition from predominantly population-based therapeutic paradigms toward dynamic, molecularly stratified, patient-specific clinical care. The central analytical finding is that malignant disease should no longer be conceptualized exclusively according to anatomical location, histopathological classification, or isolated genetic abnormalities. Rather, cancer represents a continuously evolving biological system generated through interactions among genomic instability, epigenomic remodeling, transcriptional regulation, cellular plasticity, metabolic reprogramming, immune surveillance, tumor-microenvironment interactions, pharmacological pressure, and host-specific determinants.

Molecular Integration as the Foundation of Modern Oncology

The analysis indicates that no single molecular layer can adequately explain cancer initiation, progression, therapeutic response, or resistance. Genomic information provides an essential description of sequence-level alterations, whereas epigenomic information contributes an understanding of how these alterations are functionally expressed. Transcriptomic, proteomic, metabolomic, immunological, and spatial information further characterize the biological consequences of molecular alterations.

Accordingly, the analytical model should progress from **single-biomarker interpretation toward integrated molecular phenotyping.** This transition is particularly important because the same genomic alteration may generate different phenotypes depending upon cellular context, epigenetic state, coexisting molecular abnormalities, and tumor microenvironment.

Translational Epigenetics as a Functional Interface

The analysis identifies epigenetics as a critical interface connecting inherited or acquired genomic information with environmental and cellular influences. DNA methylation, histone modifications, chromatin remodeling, enhancer activity, and non-coding RNA networks collectively regulate transcriptional states that may determine cellular differentiation, proliferation, invasion, immune evasion, and drug sensitivity. The analytical significance of epigenetic regulation derives particularly from its dynamic and potentially reversible nature. Unlike many genomic alterations, epigenetic states may change in response to environmental conditions and therapeutic pressure. This creates both a biological challenge and a therapeutic opportunity. Consequently, epigenetic biomarkers should be evaluated not only as static diagnostic variables but also as **dynamic indicators of disease state and treatment adaptation.**

Oncogenetics and the Complexity of Molecular Actionability

The analysis demonstrates that identifying a pathogenic or potentially actionable alteration is only the beginning of molecular interpretation. Clinical actionability depends upon the biological relevance of the alteration, tumor context, disease stage, available therapies, evidence strength, coexisting molecular abnormalities, and patient-specific characteristics. This distinction is fundamental because **molecular detectability does not equal therapeutic utility.** Precision oncology therefore requires multidisciplinary interpretation capable of distinguishing clinically consequential molecular alterations from findings whose therapeutic significance remains uncertain.

Tumor Heterogeneity as a Central Analytical Problem

Tumor heterogeneity represents one of the most important limitations of precision medicine. A malignant lesion may contain multiple subclones with different molecular profiles, proliferative capacities, metastatic potential, immune interactions, and pharmacological sensitivities. The analysis therefore supports a dynamic model of cancer evolution in which therapeutic intervention acts as a selective pressure. Treatment may eliminate sensitive populations while enriching resistant clones or inducing non-genetic adaptive states. It explains why a molecular profile obtained at diagnosis may become insufficient at recurrence or progression. Precision oncology should therefore increasingly incorporate **temporal molecular assessment** when clinically justified.

Epigenetic Plasticity and Therapeutic Resistance

A particularly important analytical conclusion is that therapeutic resistance cannot be explained exclusively through acquisition of new genetic mutations. Cancer cells may develop drug-tolerant states through epigenetic reprogramming, altered differentiation, transcriptional adaptation, metabolic changes, or microenvironmental protection.

This observation has substantial pharmacological implications. Resistance should be investigated through simultaneous consideration of:

- Genetic resistance;
- Epigenetic resistance;
- Pharmacokinetic resistance;
- Pharmacodynamic resistance;
- Pathway compensation;
- Tumor-microenvironment-mediated resistance;
- Immune-mediated resistance.

Such multidimensional analysis is more consistent with the biological complexity of treatment failure than a mutation-centered model alone.

Pharmacology as the Translational Bridge

The analysis establishes pharmacology as a central bridge between molecular discovery and clinical implementation. Identification of a molecular target does not automatically guarantee therapeutic success. Drug efficacy depends upon target engagement, appropriate exposure, tissue penetration, pharmacodynamic response, therapeutic index, metabolism, elimination, drug interactions, and adherence.Consequently, precision oncology should evolve from a simple **gene-to-drug matching model** toward a:**molecular phenotype → pharmacological exposure → target engagement → biological response → clinical outcome** framework. This model integrates molecular eligibility with quantitative pharmacology and clinical outcome assessment.

Pharmacoepigenomics and Individualized Therapeutic Response

The analysis further indicates that epigenetic regulation may contribute to variability in pharmacological response by modifying expression of drug-metabolizing enzymes, transporters, receptors, signaling proteins, DNA-repair pathways, and immune-regulatory mechanisms. Pharmacoepigenomics therefore provides a potentially important extension of conventional pharmacogenomics. Whereas inherited genetic variants may represent relatively stable determinants of treatment response, epigenetic regulation can be dynamic and potentially influenced by disease progression and previous treatment. This creates an opportunity for longitudinal personalization of pharmacotherapy but simultaneously introduces significant methodological challenges concerning reproducibility, causality, and clinical validation.

Biomarkers: From Discovery to Clinical Utility

The analysis identifies a critical distinction between **biomarker discovery, biomarker validation, and clinical utility.** A biomarker may demonstrate a statistically significant association with cancer without being clinically useful. For implementation, the biomarker must demonstrate adequate analytical performance, reproducibility, biological plausibility, clinical validity, and evidence that its use improves decision-making or patient outcomes. This principle is particularly important for multi-omics and artificial-intelligence-derived biomarkers, where enormous numbers of candidate associations can be identified.

Multi-Omics and Systems-Level Interpretation

The integration of genomics, epigenomics, transcriptomics, proteomics, metabolomics, immunology, and spatial biology offers a more comprehensive representation of tumor biology. However, greater molecular dimensionality simultaneously increases the risk of overfitting, technical artifacts, batch effects, false discovery, and limited external validity. Therefore, the analytical value of multi-omics medicine depends less on the quantity of molecular data generated than on the **quality, reproducibility, interpretability, and clinical relevance of the integrated model.**

Evidence-Based Medicine as the Final Validation Layer

A central analytical conclusion is that evidence-based medicine must remain the ultimate validation framework for molecularly informed interventions. Mechanistic plausibility, molecular association, computational prediction, and early-phase activity cannot independently establish clinical utility. Clinical adoption requires appropriate evidence concerning efficacy, safety, effectiveness, quality of life, cost-effectiveness, and patient-centered outcomes. Thus, precision medicine should not be interpreted as a replacement for evidence-based medicine. Rather: **Precision medicine determines whom and what to target; evidence-based medicine determines whether targeting produces meaningful benefit.**

Pharmacovigilance and Precision Safety

The analysis demonstrates that individualized cancer treatment must include individualized safety assessment. Targeted therapies, immunotherapies, molecularly selected combinations, and complex supportive-care regimens can generate distinctive adverse-event profiles. Precision pharmacovigilance may therefore integrate: **Genomic susceptibility + epigenetic state + pharmacokinetics + pharmacodynamics + comorbidity + concomitant medications + clinical phenotype,** to improve prediction, prevention, detection, and management of adverse drug reactions. This represents a transition from reactive pharmacovigilance toward increasingly **predictive and preventive medication-safety science.**

Ethical and Societal Dimensions

The analysis further establishes that molecular precision cannot be separated from ethical and societal considerations. Genomic and epigenomic information creates concerns involving privacy, informed consent, incidental findings, familial implications, data governance, discrimination, and equitable access. Similarly, high-cost molecular diagnostics and targeted therapies may create disparities if precision technologies are concentrated within specialized healthcare systems. Therefore, the true success of precision oncology should be evaluated according to both **scientific sophistication and equitable clinical accessibility.**

Critical Translational Gap

The most significant analytical gap is the distance between molecular discovery and routine clinical implementation. Thousands of molecular abnormalities may be described, yet only a limited proportion become validated clinical biomarkers or therapeutic targets. The translational pathway should therefore be understood as: **Discovery → biological validation → analytical validation → clinical validation → clinical utility → regulatory assessment**

→ implementation → pharmacovigilance → real-world evaluation. Failure at any stage prevents molecular innovation from becoming meaningful clinical practice.

Analytical Synthesis

Overall, the analysis demonstrates that the future of oncology depends upon integration of **molecular biology, epigenetic science, genetics, pharmacology, clinical pharmacology, computational science, clinical investigation, and evidence-based decision-making.** The most scientifically defensible model is therefore not a purely genomic precision-medicine framework but a **dynamic molecular–pharmacological–clinical framework** in which cancer biology and therapeutic response are continuously reassessed. The ultimate objective is to transform increasingly complex molecular information into clinically actionable knowledge capable of improving: **Cancer prevention → early detection → diagnostic precision → risk stratification → therapeutic selection → individualized dosing → response prediction → toxicity prevention → resistance management → survivorship → quality of life and patient-centered outcomes.** Accordingly, the highest level of translational achievement will not be measured by the number of molecular abnormalities detected, sequencing depth, computational complexity, or biomarker quantity alone. It will be determined by whether molecular discoveries can be **reliably validated, pharmacologically interpreted, clinically implemented, ethically governed, economically justified, and demonstrated through high-quality evidence to improve outcomes for individual patients and populations.**

CONCLUSION

- The integration of **translational epigenetics, oncogenetics, precision medicine, translational medicine, pharmacology, clinical pharmacology, pharmacotherapy, and evidence-based medicine** represents a fundamental transformation in contemporary cancer science and clinical practice. The present scientific discourse demonstrates that cancer should no longer be interpreted as a static pathological entity defined exclusively by anatomical location, histological classification, or isolated genetic alterations. Rather, malignancy constitutes a highly dynamic biological system characterized by continuous interactions among genomic instability, epigenomic remodeling, transcriptional regulation, metabolic adaptation, immune responses, tumor-microenvironment interactions, cellular plasticity, pharmacological exposure, and host-specific determinants.
- Translational epigenetics provides a particularly important conceptual and therapeutic bridge because epigenomic mechanisms regulate gene expression, cellular differentiation, tumor progression, immune recognition, DNA repair, and therapeutic sensitivity. The potentially reversible nature of many epigenetic abnormalities creates opportunities for biomarker development and pharmacological intervention. At the same time, epigenetic plasticity may contribute to treatment adaptation and resistance, demonstrating that molecular phenotypes must increasingly be understood as dynamic rather than permanently fixed.
- Oncogenetics and precision medicine further enable individualized cancer-risk assessment, molecular classification, therapeutic stratification, and prevention. However, the analysis emphasizes that molecular detection does not automatically establish clinical actionability. Genetic and epigenetic findings require rigorous analytical validation, biological interpretation, clinical validation, and evidence demonstrating meaningful clinical utility. Precision medicine should therefore remain firmly integrated with evidence-based medicine rather than operating independently from it.
- Pharmacology and clinical pharmacology provide the essential translational bridge between molecular characterization and therapeutic intervention. The effectiveness of a

molecularly selected treatment depends not only upon target identification but also upon pharmacokinetics, pharmacodynamics, target engagement, therapeutic index, drug interactions, patient-specific exposure, and treatment adherence. Pharmacogenomics and pharmacoepigenomics further contribute to understanding interindividual variability in efficacy and toxicity, supporting increasingly individualized pharmacotherapy.

- The analysis additionally demonstrates that tumor heterogeneity and evolutionary adaptation represent major challenges for precision oncology. Genetic and epigenetic evolution can generate resistant cellular populations, while treatment itself may impose selective pressure that reshapes tumor biology. Consequently, future cancer care should increasingly incorporate longitudinal molecular monitoring, dynamic biomarker assessment, pharmacological optimization, and adaptive therapeutic strategies when supported by clinical evidence.
- Importantly, technological sophistication must remain subordinate to clinically meaningful outcomes. Multi-omics, liquid biopsy, artificial intelligence, digital pathology, molecular tumor profiling, and advanced computational approaches have substantial translational potential, but their implementation requires reproducibility, external validation, standardization, ethical governance, cost-effectiveness, and demonstrated improvement in patient care.
- The future of oncology depends upon converting molecular complexity into **validated, actionable, pharmacologically interpretable, clinically useful, ethically responsible, and patient-centered knowledge.** The integration of translational epigenetics with oncogenetics, precision medicine, pharmacology, clinical pharmacology, pharmacotherapy, pharmacovigilance, and evidence-based medicine provides a comprehensive scientific framework for achieving this objective. Such an integrated paradigm has the potential to advance personalized cancer prevention, early detection, diagnostic precision, therapeutic selection, individualized dosing, toxicity prevention, resistance management, long-term surveillance, and survivorship. The highest achievement of precision cancer medicine will therefore not be the generation of increasingly complex molecular datasets, but the successful translation of those discoveries into **measurable improvements in survival, safety, quality of life, therapeutic effectiveness, and equitable patient-centered cancer care.**

RECOMMENDATIONS

Based on the integrated scientific analysis of translational epigenetics, oncogenetics, precision medicine, translational medicine, pharmacology, clinical pharmacology, pharmacotherapy, pharmacogenomics, pharmacoepigenomics, pharmacovigilance, and evidence-based medicine, several strategic recommendations can be formulated to strengthen the scientific and clinical foundations of personalized cancer care.

- **Establish integrated molecular profiling frameworks:** Cancer assessment should progressively incorporate genomic, epigenomic, transcriptomic, proteomic, metabolic, immunological, and spatial information where clinically justified. Molecular results should be interpreted collectively rather than as isolated biomarkers, with consideration of histopathology, disease stage, tumor heterogeneity, previous treatment, and clinical phenotype.
- **Strengthen translational epigenetic research:** Greater emphasis should be placed on identifying clinically relevant epigenetic alterations, clarifying their causal relationships with malignant transformation, and developing reproducible epigenetic biomarkers for cancer prevention, early detection, prognosis, treatment selection, and resistance monitoring. Longitudinal investigations should be prioritized to distinguish stable epigenetic abnormalities from treatment-induced or environmentally responsive changes.

- **Expand oncogenetic risk assessment:** Evidence-based germline and somatic genetic evaluation should be incorporated into appropriate cancer-prevention and treatment pathways. Genetic counseling, accurate variant interpretation, family-risk assessment, and responsible communication of uncertain findings should accompany molecular testing.
- **Integrate clinical pharmacology into precision oncology:** Molecular treatment selection should be complemented by pharmacokinetic and pharmacodynamic assessment whenever scientifically and clinically appropriate. Individualized dosing should account for organ function, drug interactions, therapeutic exposure, pharmacogenomic determinants, and treatment-specific therapeutic windows.
- **Advance pharmacogenomics and pharmacoepigenomics:** Research should prioritize clinically validated genetic and epigenetic predictors of therapeutic efficacy and adverse drug reactions. Such biomarkers should undergo rigorous prospective validation before routine implementation.
- **Develop rational combination pharmacotherapy:** Combination regimens involving targeted, epigenetic, immune-modulating, endocrine, cytotoxic, or other therapeutic approaches should be based on demonstrated mechanistic complementarity and clinical evidence. Potential pharmacokinetic interactions, overlapping toxicities, and cumulative treatment burden must be systematically evaluated.
- **Strengthen biomarker validation:** Candidate biomarkers should progress through clearly defined stages of analytical validity, clinical validity, clinical utility, and implementation assessment. Molecular associations alone should not be considered sufficient evidence for clinical adoption.
- **Implement longitudinal disease monitoring:** Where validated, liquid biopsy, circulating tumor DNA, molecular residual-disease assessment, and serial molecular profiling should be investigated as tools for monitoring therapeutic response, recurrence risk, and emerging resistance. Clinical decisions should remain dependent upon evidence demonstrating that molecular monitoring improves outcomes.
- **Expand precision pharmacovigilance:** Safety surveillance should integrate clinical, pharmacological, genetic, and potentially epigenetic information to improve prediction and early detection of adverse drug reactions. Real-world evidence should complement clinical-trial safety data, particularly for rare or delayed toxicities.
- **Strengthen multidisciplinary precision-medicine teams:** Molecular tumor boards and collaborative teams involving oncologists, clinical pharmacologists, pharmacists, geneticists, molecular pathologists, bioinformaticians, epidemiologists, and other specialists should be promoted to ensure comprehensive interpretation of complex molecular findings.
- **Ensure ethical and equitable implementation:** Genomic and epigenomic testing should be accompanied by informed consent, privacy protection, appropriate data governance, responsible management of incidental findings, and safeguards against discrimination. Access to precision diagnostics and therapeutics should be promoted across diverse populations and healthcare systems.
- **Prioritize evidence-based implementation:** New molecular technologies and therapeutic approaches should be incorporated into routine care only after appropriate validation of clinical benefit, safety, reproducibility, feasibility, and cost-effectiveness. Future research should prioritize prospective biomarker-guided trials, adaptive clinical-trial designs, real-world evidence, standardized methodologies, and implementation science.
- The recommendations support a transition toward **dynamic, evidence-governed, pharmacologically optimized, molecularly informed, and patient-centered oncology**. The ultimate objective should be to ensure that advances in translational epigenetics and precision

medicine are converted into demonstrable improvements in cancer prevention, diagnostic accuracy, therapeutic efficacy, treatment safety, survival, quality of life, and equitable healthcare delivery.

REFERENCES

1. Hanahan D. Hallmarks of cancer: new dimensions. Cancer Discov. 2022;12(1):31-46.
2. Hanahan D, Weinberg RA. Hallmarks of cancer: the next generation. Cell. 2011;144(5):646-674.
3. Hanahan D, Weinberg RA. The hallmarks of cancer. Cell. 2000;100(1):57-70.
4. Vogelstein B, Papadopoulos N, Velculescu VE, Zhou S, Diaz LA Jr, Kinzler KW. Cancer genome landscapes. Science. 2013;339(6127):1546-1558.
5. Bailey P, Chang DK, Nones K, Johns AL, Patch AM, Gingras MC, et al. Genomic analyses identify molecular subtypes of pancreatic cancer. Nature. 2016;531(7592):47-52.
6. Cancer Genome Atlas Research Network. Comprehensive genomic characterization of human colon and rectal cancer. Nature. 2012;487(7407):330-337.
7. Cancer Genome Atlas Research Network. Comprehensive molecular characterization of human breast tumours. Nature. 2012;490(7418):61-70.
8. Cancer Genome Atlas Research Network. Comprehensive molecular portraits of human breast tumours. Nature. 2012;490(7418):61-70.
9. Cancer Genome Atlas Research Network. Comprehensive genomic characterization of squamous cell carcinomas. Nature. 2012;489(7417):519-525.
10. Cancer Genome Atlas Research Network. Comprehensive molecular characterization of clear cell renal cell carcinoma. Nature. 2013;499(7456):43-49.
11. Cancer Genome Atlas Research Network. Comprehensive molecular profiling of lung adenocarcinoma. Nature. 2014;511(7511):543-550.
12. Cancer Genome Atlas Research Network. Comprehensive genomic characterization of gastric adenocarcinoma. Nature. 2014;513(7517):202-209.
13. Cancer Genome Atlas Research Network. Molecular profiling of lung squamous cell carcinoma. Nature. 2012;489(7417):519-525.
14. Hoadley KA, Yau C, Hinoue T, Wolf DM, Lazar AJ, Drill E, et al. Cell-of-origin patterns dominate the molecular classification of 10,000 tumors from 33 types of cancer. Cell. 2018;173(2):291-304.
15. Bailey MH, Tokheim C, Porta-Pardo E, Sengupta S, Bertrand D, Weerasinghe A, et al. Comprehensive characterization of cancer driver genes and mutations. Cell. 2018;173(2):371-385.
16. Sanchez-Vega F, Mina M, Armenia J, Chatila WK, Luna A, La KC, et al. Oncogenic signaling pathways in The Cancer Genome Atlas. Cell. 2018;173(2):321-337.
17. Tamborero D, Rubio-Perez C, Deu-Pons J, Schroeder MP, Vivancos A, Rovira A, et al. Cancer Genome Interpreter annotates the biological and clinical relevance of tumor alterations. Genome Med. 2018;10:25.
18. Chakravarty D, Gao J, Phillips SM, Kundra R, Zhang H, Wang J, et al. OncoKB: a precision oncology knowledge base. JCO Precis Oncol. 2017;2017:1-16.
19. Dienstmann R, Rodon J, Tabernero J. Molecular profiling of cancer patients to select targeted treatment: lessons from the SHIVA trial. Ann Oncol. 2015;26(8):1495-1497.
20. Tsimberidou AM, Fountzilas E, Broom BM, Kurzrock R. Comprehensive molecular profiling identifies patients with advanced cancers who may benefit from treatment based on tumor molecular profile. J Clin Oncol. 2014;32(7):636-642.

21. Hyman DM, Taylor BS, Baselga J. Implementing genome-driven oncology. Cell. 2017;168(4):584-599.
22. Schwaederle M, Zhao M, Lee JJ, Lazar V, Leyland-Jones B, McLellan B, et al. Impact of precision medicine in diverse cancers: a meta-analysis of phase II clinical trials. J Clin Oncol. 2015;33(32):3817-3825.
23. Marquart J, Chen EY, Prasad V. Estimation of the percentage of US patients with cancer who benefit from genome-driven oncology. JAMA Oncol. 2018;4(8):1093-1098.
24. Mateo J, Steuten L, Aftimos P, André F, Davies M, Garrido P, et al. Delivering precision oncology to patients with cancer. Nat Rev Clin Oncol. 2022;19(3):154-169.
25. Malone ER, Oliva M, Sabatini PJB, Stockley TL, Siu LL. Molecular profiling for precision cancer therapies. Genome Med. 2020;12:8.
26. Tannock IF, Hickman JA. Limits to personalized cancer medicine. N Engl J Med. 2016;375(13):1289-1294.
27. Yu X, Zhao H, Wang R, Chen Y, Ouyang X, Li W, et al. Cancer epigenetics: from laboratory studies and clinical trials to precision medicine. Cell Death Discov. 2024;10:28.
28. Kelly AD, Issa JPJ. The promise and challenges of epigenetic therapy in cancer. Cancer J. 2017;23(5):250-257.
29. Dawson MA, Kouzarides T. Cancer epigenetics: from mechanism to therapy. Cell. 2012;150(1):12-27.
30. Jones PA, Baylin SB. The fundamental role of epigenetic events in cancer. Nat Rev Genet. 2002;3(6):415-428.
31. Jones PA, Baylin SB. The epigenomics of cancer. Cell. 2007;128(4):683-692.
32. Jones PA, Issa JPJ, Baylin S. Targeting the cancer epigenome for therapy. Nat Rev Genet. 2016;17(10):630-641.
33. Baylin SB, Jones PA. A decade of exploring the cancer epigenome: biological and translational implications. Nat Rev Cancer. 2011;11(10):726-734.
34. Sharma S, Kelly TK, Jones PA. Epigenetics in cancer. Carcinogenesis. 2010;31(1):27-36.
35. Dawson MA. The cancer epigenome: concepts, challenges, and therapeutic opportunities. Science. 2017;355(6332):1147-1152.
36. Dawson MA, Kouzarides T. Cancer epigenetics: from mechanism to therapy. Cell. 2012;150(1):12-27.
37. Esteller M. Epigenetics in cancer. N Engl J Med. 2008;358(11):1148-1159.
38. Feinberg AP, Koldobskiy MA, Göndör A. Epigenetic modulators, modifiers and mediators in cancer aetiology and progression. Nat Rev Genet. 2016;17(5):284-299.
39. Mohammad HP, Barbash O, Creasy CL. Targeting epigenetic modifications in cancer therapy: erasing the roadmap to cancer. Nat Med. 2019;25(3):403-418.
40. Berdasco M, Esteller M. Clinical epigenetics: seizing opportunities for translation. Nat Rev Genet. 2019;20(2):109-127.
41. Flavahan WA, Gaskell E, Bernstein BE. Epigenetic plasticity and the hallmarks of cancer. Science. 2017;357(6349):eaal2380.
42. Feinberg AP. The key role of epigenetics in human disease prevention and mitigation. N Engl J Med. 2018;378(14):1323-1334.
43. Issa JP. DNA methylation as a clinical marker in oncology. J Clin Oncol. 2012;30(21):2566-2568.
44. Laird PW. The power and the promise of DNA methylation markers. Nat Rev Cancer. 2003;3(4):253-266.
45. Baylin SB, Ohm JE. Epigenetic gene silencing in cancer: a mechanism for early oncogenic pathway addiction? Nat Rev Cancer. 2006;6(2):107-116.

46. Schuebel KE, Chen W, Cope L, Glockner SC, Suzuki H, Yi JM, et al. Comparing the DNA hypermethylome with gene mutations in human colorectal cancer. PLoS Genet. 2007;3(3):e43.
47. Sharma P, Wagner R, Wolff DW, Clark A. Novel cancer epigenetic therapies: promises and potential. J Cell Biochem. 2010;110(5):1082-1089.
48. Egger G, Liang G, Aparicio A, Jones PA. Epigenetics in human disease and prospects for epigenetic therapy. Nature. 2004;429(6990):457-463.
49. Portela A, Esteller M. Epigenetic modifications and human disease. Nat Biotechnol. 2010;28(10):1057-1068.
50. Feinberg AP. Phenotypic plasticity and the epigenetics of human disease. Nature. 2007;447(7143):433-440.
51. Feinberg AP, Ohlsson R, Henikoff S. The epigenetic progenitor origin of human cancer. Nat Rev Genet. 2006;7(1):21-33.
52. The Cancer Genome Atlas Research Network. The molecular taxonomy of primary prostate cancer. Cell. 2015;163(4):1011-1025.
53. Bailey P, Chang DK, Nones K, Johns AL, Patch AM, Gingras MC, et al. Genomic analyses identify molecular subtypes of pancreatic cancer. Nature. 2016;531(7592):47-52.
54. Stratton MR, Campbell PJ, Futreal PA. The cancer genome. Nature. 2009;458(7239):719-724.
55. Garraway LA, Lander ES. Lessons from the cancer genome. Cell. 2013;153(1):17-37.
56. Vogelstein B, Kinzler KW. Cancer genes and the pathways they control. Nat Med. 2004;10(8):789-799.
57. Levine AJ, Puzio-Kuter AM. The control of the metabolic switch in cancers by oncogenes and tumor suppressor genes. Science. 2010;330(6009):1340-1344.
58. Greaves M, Maley CC. Clonal evolution in cancer. Nature. 2012;481(7381):306-313.
59. McGranahan N, Swanton C. Clonal heterogeneity and tumor evolution: past, present, and the future. Cell. 2017;168(4):613-628.
60. Gerlinger M, Rowan AJ, Horswell S, Larkin J, Endesfelder D, Gronroos E, et al. Intratumor heterogeneity and branched evolution revealed by multiregion sequencing. N Engl J Med. 2012;366(10):883-892.
61. Jamal-Hanjani M, Quezada SA, Larkin J, Swanton C. Translational implications of tumor heterogeneity. Clin Cancer Res. 2015;21(6):1258-1266.
62. Dagogo-Jack I, Shaw AT. Tumour heterogeneity and resistance to cancer therapies. Nat Rev Clin Oncol. 2018;15(2):81-94.
63. Holohan C, Van Schaeybroeck S, Longley DB, Johnston PG. Cancer drug resistance: an evolving paradigm. Nat Rev Cancer. 2013;13(10):714-726.
64. Vasan N, Baselga J, Hyman DM. A view on drug resistance in cancer. Nature. 2019;575(7782):299-309.
65. Sharma SV, Lee DY, Li B, Quinlan MP, Takahashi F, Maheswaran S, et al. A chromatin-mediated reversible drug-tolerant state in cancer cell subpopulations. Cell. 2010;141(1):69-80.
66. Marine JC, Dawson SJ, Dawson MA. Non-genetic mechanisms of therapeutic resistance in cancer. Nat Rev Cancer. 2020;20(12):743-756.
67. Hollebecque A, Massard C, Soria JC. Tumor agnostic drug development: a new paradigm in precision oncology. Nat Rev Clin Oncol. 2019;16(10):623-624.
68. Letai A. Functional precision cancer medicine-moving beyond pure genomics. Nat Med. 2017;23(9):1028-1030.
69. Massard C, Michiels S, Ferte C, Le Deley MC, Lacroix L, Hollebecque A, et al. High-throughput molecular analysis of 698 advanced solid tumors identifies actionable alterations and can guide targeted therapy decisions. Cancer Discov. 2016;6(7):745-756.

70. Wheler JJ, Janku F, Naing A, Li Y, Stephen B, Zinner R, et al. Cancer therapy directed by comprehensive genomic profiling: a single center study. Cancer Res. 2016;76(13):3690-3701.
71. Dienstmann R, Rodon J, Tabernero J. Molecular profiling of cancer patients to select targeted treatment: lessons from the SHIVA trial. Ann Oncol. 2015;26(8):1495-1497.
72. Meric-Bernstam F, Brusco L, Shaw K, Horombe C, Raghav KP, Baladandayuthapani V, et al. Feasibility of large-scale genomic testing to facilitate enrollment onto genomically matched clinical trials. J Clin Oncol. 2015;33(25):2753-2762.
73. Tsimberidou AM, Iskander NG, Hong DS, Wheler JJ, Falchook GS, Fu S, et al. Personalized medicine in a phase I clinical trials program: the MD Anderson Cancer Center initiative. Clin Cancer Res. 2012;18(22):6373-6383.
74. Le Tourneau C, Delord JP, Gonçalves A, Gavoille C, Dubot C, Isambert N, et al. Molecularly targeted therapy based on tumor molecular profiling versus conventional therapy for advanced cancer: the SHIVA randomized clinical trial. Lancet Oncol. 2015;16(13):1324-1334.
75. Toffoli G, Innocenti F, Polesel J, De Mattia E, Turriziani M, Giodini L, et al. The role of pharmacogenetics in the treatment of colorectal cancer. Clin Colorectal Cancer. 2011;10(4):271-281.
76. Rosmarin D, Palles C, Church D, Domingo E, Holmberg L, Houlston R, et al. Genetic markers of toxicity from capecitabine and other fluoropyrimidine-based regimens. Cancer Treat Rev. 2014;40(2):321-330.
77. Offer SM, Fossum CC, Wegner NJ, Stoskopf CH, Milne GL, Ness RM, et al. Comparative functional analysis of DPYD variants in relation to fluoropyrimidine toxicity. Clin Cancer Res. 2014;20(15):4001-4010.
78. Amstutz U, Henricks LM, Offer SM, Barbarino J, Schellens JHM, Swen JJ, et al. Clinical Pharmacogenetics Implementation Consortium guidelines for DPYD genotype and fluoropyrimidine dosing. Clin Pharmacol Ther. 2018;103(2):210-216.
79. Caudle KE, Thorn CF, Klein TE, Swen JJ, McLeod HL, Diasio RB, et al. Clinical Pharmacogenetics Implementation Consortium guidelines for CYP2D6 genotype and tamoxifen therapy. Clin Pharmacol Ther. 2018;103(5):770-777.
80. Cardonick E, Gilmandyar D, Somer RA. Maternal and fetal outcomes of paclitaxel and carboplatin chemotherapy during pregnancy. Clin Breast Cancer. 2012;12(1):70-75.
81. Bates SE. Epigenetic therapies for cancer. N Engl J Med. 2020;383(7):650-663.
82. Baylin SB, Jones PA. A decade of exploring the cancer epigenome: biological and translational implications. Nat Rev Cancer. 2011;11(10):726-734.
83. Helin K, Dhanak D. Chromatin proteins and modifications as drug targets. Nature. 2013;502(7469):480-488.
84. Sulashvili N, Alavidze N, Abuladze N, Shapoval O, Sulashvili M, Okropiridze T. The key issue features on translational and mechanistic appraisal of clinical pharmacologists' contributions to personalized medicine, pharmacogenomic integration, and optimization of individualized therapeutic interventions. Proceedings of the International Cahit Arf Scientific Research and Innovation Congress; May 2-3, 2026; Ankara, Turkey. p.107-133.
85. Sulashvili N, Imerlishvili I, Advadze MM, Beglaryan M, Fernandez de Jauregui DR, Gorgaslidze N, et al. The scientific discourse on integrative big-data analysis of epigenetic aging: multi-cohort DNA methylation modeling, biological age acceleration, healthspan optimization and precision longevity medicine via systems-level inference. Proceedings of the 5th International Paris Congress on Medical & Health Sciences; June 19-21, 2026; Paris, France. p.107-183.

86. Sulashvili N, Patsia L, Tadevosyan AA, Kravchenko V, Shapoval O, Sulashvili M, et al. The scientific talks of rewriting the code of medicine: from concept to cure, current advances, clinical successes, and future horizons in gene therapy. Proceedings of the International Dicle Scientific Research and Innovation Congress-XI; April 15-16, 2026; Diyarbakır, Turkey. p.253-322.
87. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Gabunia L, Kravchenko V, Alavidze N, Tsintsadze T, et al. The scientific talks of manifestation of modern achievements of some genetic and biochemical aspects of biological processes of aging challenges in general. Book of Publications of the I International Scientific and Practical Conference "Modern Achievements of Experimental, Clinical, Environmental Biochemistry and Molecular Biology"; March 7, 2024; Kharkiv, Ukraine. p.160-191.
88. Sulashvili N, Aphkhazava D, Ramdas K. The scientific talks of manifestation of exploring some key issue aspects of scholarly discourse of appraising indicators altering pharmacists' professional expansion, prognosis, achievement, and challenges and vocational obstacles in Georgia. Conference Proceedings of the First International Scientific-Practical Conference "Technology & Devices in Modern Medicine: Prognosis, Achievement, and Challenges"; February 21-22, 2025; Tallinn, Estonia. p.14-15.
89. Sulashvili N, Imerlishvili I, Gabunia L, Gorgaslidze N, Didbaridze T, Alavidze N, et al. The scientific discourse on modern approaches to cancer immunotherapy: exploring novel targets, combination therapies and future perspectives addressing therapeutic resistance, mechanisms of action, adverse effects and treatment-related toxicities. Proceedings of the International Bergama Scientific Research Congress; June 29-30, 2026; İzmir, Turkey. p.111-160.
90. Sulashvili N, Alavidze N, Egnatievi I, Gorgaslidze N, Buleishvili M, Kravchenko V, et al. The scientific discourse on integrated One Health approaches to pharmaceutical residues: environmental fate, biological consequences, risk characterization, and sustainable management strategies for global health protection advancement. Proceedings of International Trakya Scientific Research Congress; June 27-28, 2026; Edirne, Turkey. p.259-307.
91. Sulashvili N, Buleishvili M, Patsia L, Tadevosyan AA, Imerlishvili I, Kravchenko V, et al. The scientific discourse of COVID-19 vaccine platforms, advanced classification, mechanisms of action, clinical efficacy, safety and toxicity profiles, and emerging challenges in healthcare delivery. International Journal of Innovative Medicine & Healthcare. 2026;8(5):1-?
92. Sulashvili N, Gorgaslidze N, Gabunia L, Buleishvili M, Alavidze N, Abuladze N, et al. Pharmacotherapy in critical care medicine. Proceedings of the 8th International Scientific-Practical Conference in Anesthesiology and Intensive Therapy, GEOANESTHESIA-2025; 2025; Batumi, Georgia. p.48-49.
93. Sulashvili N, Buleishvili M, Imerlishvili I, Advadze MM, Beglaryan M, Fernandez de Jauregui DR, et al. The scientific discourse on transdisciplinary, integrated, and evidence-based approaches in occupational health and health sciences: advancing effective risk prevention, workforce well-being, sustainable healthcare systems, and global health security strategies. Proceedings of the International Scientific Research and Innovation Congress.
94. Dawson MA. The cancer epigenome: concepts, challenges, and therapeutic opportunities. Science. 2017;355(6332):1147-1152.
95. Flavahan WA, Gaskell E, Bernstein BE. Epigenetic plasticity and the hallmarks of cancer. Science. 2017;357(6349):eaal2380.
96. Esteller M. Cancer epigenomics: DNA methylomes and histone-modification maps. Nat Rev Genet. 2007;8(4):286-298.
97. Feinberg AP. The epigenetics of cancer etiology. Semin Cancer Biol. 2004;14(6):427-432.

98. Feinberg AP, Vogelstein B. Hypomethylation distinguishes genes of some human cancers from their normal counterparts. Nature. 1983;301(5895):89-92.
99. Yu X, Zhao H, Wang R, Chen Y, Ouyang X, Li W, et al. Cancer epigenetics: from laboratory studies and clinical trials to precision medicine. Cell Death Discov. 2024;10:28.
100. André F, Arnedos M, Baras AS, Baselga J, Bedard PL, Berger MF, et al. Prioritizing targets for precision cancer medicine. Ann Oncol. 2014;25(12):2295-2303.
101. McCarthy JJ, McLeod HL, Ginsburg GS. Genomic medicine: a decade of successes, challenges, and opportunities. Sci Transl Med. 2013;5(189):189sr4.
102. Relling MV, Evans WE. Pharmacogenomics in the clinic. Nature. 2015;526(7573):343-350.
103. Evans WE, Relling MV. Pharmacogenomics: translating functional genomics into rational therapeutics. Science. 1999;286(5439):487-491.
104. Pirmohamed M. Pharmacogenomics: current status and future perspectives. Nat Rev Genet. 2023;24(7):463-480.
105. Chan HT, Chin YM, Low SK. The roles of common variation and somatic mutation in cancer pharmacogenomics. Oncol Ther. 2019;7(1):1-32.
106. Patel JN, McLeod HL. Pharmacogenomics and personalized cancer treatment. Adv Drug Deliv Rev. 2014;66:99-110.
107. Hertz DL, McLeod HL. Use of pharmacogenetics for predicting cancer prognosis and treatment outcomes. Clin Cancer Res. 2013;19(12):3206-3212.
108. Steuerwald NM, Morris S, Nguyen DG, Patel JN. Understanding the biology and testing techniques for pharmacogenomics in oncology: a practical guide for the clinician. JCO Oncol Pract. 2024;20(11):1441-1451.
109. Walko CM, McLeod H. Pharmacogenomic progress in individualized dosing of key drugs in breast cancer. Adv Drug Deliv Rev. 2014;70:23-30.
110. Cecchin E, Stocco G. Pharmacogenomics and personalized medicine in pediatric oncology. Pharmacogenomics. 2014;15(10):1387-1401.

SCIENTIFIC TALKS ON EPILEPSY: INTEGRATIVE SCIENTIFIC INSIGHTS INTO NEUROIMMUNOLOGICAL PATHOGENESIS, MOLECULAR MECHANISMS, DIAGNOSTIC COMPLEXITY, THERAPEUTIC PHARMACOLOGY, ADVERSE DRUG OUTCOMES, PRECISION MEDICINE, AND EMERGING GLOBAL STRATEGIES FOR PERSONALIZED CARE

Nodar Sulashvili
Margarita Beglaryan
Maka Buleishvili
Mariam Darbaidze
Nana Gorgaslidze
Lasha Tchelidze
Magda Davitashvili
Ada (Adel) Tadevosyan
Maia Jikia
Vira Kravchenko
Marika Sulashvili
Lela Grigolia
Kakhaber Robakidze
Igor Seniuk
Marina Giorgobiani
Teimuraz Enukidze
Mariam Jikidze
David Aphkhazava

MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical and Pharmacological Sciences In Medicine, Professor of Faculty of Medicine at Georgian International University GIU; Professor of Pharmacology of Faculty of Medicine at Georgian National University SEU; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of Faculty of Medicine at BAU International University Batumi, Georgia; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of International School of Medicine at Alte University; Tbilisi, Georgia; Invited Professor/Lecturer of Scientific Research-Skills Center, Tbilisi State Medical University; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of Faculty of Medicine at Grigol Robakidze University, Professor of Medical Pharmacology of Faculty of Medicine, Sulkhan-Saba Orbeliani University; Associate Professor of Pharmacy Program, Sh. Meskhia Zugdidi State University; Associate Professor of Medical Pharmacology at Faculty of Medicine, David Aghmashenebeli University of Georgia; Associate Professor of Biochemistry and Pharmacology Direction of Health Sciences at The University of Georgia; Associate Professor of Pharmacology of Faculty of Medicine, East European University; Associate Professor of Pharmacology of Faculty of Dentistry and Pharmacy, Tbilisi Humanitarian Teaching University; Invited Lecturer of Clinical Pharmacology Department at Tbilisi State Medical University; Invited Professor of Faculty of Medicine at European University, Invited Professor of Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia; https://orcid.org/0000-0002-9005-8577

16. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Academician, Professor of Yerevan State Medical University After Mkhitar Heratsi, Head of the Department of Pharmaceutical Management, Yerevan, Armenia; https://orcid.org/0000-0003-3697-6390

MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor, Dean of Faculty of Medicine at Georgian International University GIU, Tbilisi, Georgia; 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

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

17. 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

18. MD, PhD Candidate, Tbilisi State Medical University, Director of the Georgian Association of Allergology and Clinical Immunology, Tbilisi, Georgia.

19. PhD, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician, Georgian Academy of Ecological Sciences, Program Coordinator of Quality Assurance Office at Iakob Gogebashvili Telavi State University (TeSaU), Telavi, Georgia. https://orcid.org/0009-0005-4213-6533

20. 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;

21. MD, DDM, PhD, Doctor Medical Sciences, Professor of of Faculty of Medicine at Georgian National University SEU, Head of The Dentistry Program at Georgian National University SEU, Tbilisi, Georgia;

22. 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

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 Medical Sciences, Professor of The Caucasus International University; Tbilisi, Georgia;

25. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Academician, Professor of The Caucasus International University; National Health Center named after Academician O. Gudushauri; Tbilisi, Georgia;

26. 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/0000-0003-3819-7333

27. 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

28. PhD Candidate, Caucasus International University, Tbilisi, Georgia;

29. MD, PhD Candidate, Caucasus International University, Tbilisi, Georgia;

30. PhD, Doctor of Biological Sciences, Professor of Biochemistry at Alte University, Tbilisi, Georgia. Orcid: https://orcid.org/0000-0001-6216-6477

Abstract

Epilepsy is a heterogeneous group of chronic neurological disorders characterized by an enduring predisposition to generate epileptic seizures and associated with substantial neurobiological, psychological, social, and public health consequences. Although major advances have been achieved in electroencephalography, neuroimaging, molecular genetics, pharmacotherapy, and neurosurgical management, epilepsy remains a complex therapeutic and diagnostic challenge worldwide. This scientific perspective examines epilepsy through an integrative framework encompassing neuroimmunological pathogenesis, molecular and cellular mechanisms, diagnostic complexity, therapeutic pharmacology, adverse drug outcomes, precision medicine, and emerging strategies for individualized care. Increasing evidence indicates that epileptogenesis is not solely a consequence of abnormal neuronal excitability but reflects dynamic interactions among neuronal networks, glial cells, inflammatory mediators, immune pathways, blood–brain barrier dysfunction, metabolic alterations, synaptic remodeling, and genetic susceptibility. Neuroinflammatory mechanisms involving cytokines, chemokines, complement pathways, microglial activation, astrocytic dysfunction, and adaptive immune responses may contribute to seizure generation, disease progression, and pharmacoresistance. Diagnostic evaluation requires comprehensive clinical characterization, detailed seizure and epilepsy classification, electroencephalographic assessment, high-resolution magnetic resonance imaging, metabolic and genetic investigations, and, when appropriate, advanced molecular and immunological testing. Diagnostic uncertainty may arise from overlapping clinical manifestations, limitations of routine electroencephalography, atypical seizure presentations, psychogenic nonepileptic seizures, and the coexistence of multiple neurological or systemic disorders. Consequently, modern epilepsy diagnosis increasingly requires multidisciplinary integration of clinical, electrophysiological, structural, genetic, and biochemical information. Pharmacological management remains the principal therapeutic strategy for most patients. Antiseizure medications act through diverse mechanisms, including modulation of voltage-gated sodium and calcium channels, enhancement of γ-aminobutyric acid-mediated inhibition, attenuation of glutamatergic neurotransmission, regulation of synaptic vesicle release, and modulation of intracellular signaling pathways. Nevertheless, approximately one-third of individuals experience inadequate seizure control despite appropriate pharmacological treatment, emphasizing the persistent problem of drug-resistant epilepsy. Treatment-related complications include dose-dependent adverse effects, idiosyncratic reactions, cognitive and behavioral disturbances, drug–drug interactions, organ toxicity, teratogenic risks, and clinically significant pharmacokinetic variability. These challenges reinforce the importance of therapeutic individualization, medication adherence, pharmacovigilance, and systematic monitoring of treatment outcomes. Precision medicine represents an increasingly important paradigm in epilepsy care. Pharmacogenomics, genomic sequencing, biomarker discovery, molecular phenotyping, artificial intelligence, digital health technologies, and individualized prediction models may facilitate more accurate diagnosis and selection of antiseizure therapies. Identification of pathogenic genetic variants can additionally provide opportunities for mechanism-based treatment and genetic counseling, particularly in developmental and epileptic encephalopathies. Emerging therapeutic approaches include immunomodulatory interventions for selected immune-mediated epilepsies, targeted molecular therapies, novel neuromodulation strategies, rational polypharmacy, dietary interventions, gene-based approaches, and disease-modifying therapeutics aimed at preventing or modifying epileptogenesis. The contemporary scientific perspectives indicate that epilepsy should be conceptualized as a biologically diverse network disorder rather than a single clinical entity. Future progress will depend on integrating

neuroimmunology, molecular neuroscience, genetics, pharmacology, computational medicine, and clinical expertise into coordinated precision-care models. Such an approach may improve diagnostic accuracy, therapeutic effectiveness, safety, quality of life, and long-term neurological outcomes while advancing the global transition from conventional seizure suppression toward personalized and potentially disease-modifying epilepsy management.
Keywords: Epilepsy; Neuroimmunology; Epileptogenesis; Molecular Pathogenesis; Seizure Disorders; Diagnostics; Antiseizure Medications; Pharmacotherapy; Pharmacoresistance; Adverse Drug Reactions;

Introduction

Historically, the understanding of epilepsy has undergone remarkable transformation. Ancient civilizations frequently attributed seizures to supernatural or spiritual causes, considering affected individuals to be possessed by divine or demonic forces. Early medical writings gradually challenged these interpretations by recognizing epilepsy as a disorder originating within the brain. The pioneering observations of Hippocrates represented one of the earliest scientific attempts to explain epilepsy as a neurological disease rather than a supernatural phenomenon. During subsequent centuries, advances in neuroanatomy, neuropathology, electrophysiology, and neurochemistry progressively refined scientific understanding of seizure generation. The introduction of electroencephalography provided an unprecedented opportunity to characterize abnormal cortical electrical activity and revolutionized clinical diagnosis. Later developments in neuroimaging, molecular genetics, immunology, and computational neuroscience further expanded the conceptual framework of epilepsy, revealing an extraordinary diversity of biological mechanisms contributing to epileptogenesis.

The contemporary understanding of epilepsy recognizes seizures as manifestations of abnormal neuronal synchronization occurring within distributed neural networks rather than isolated cortical regions. Normal brain function depends upon a delicate equilibrium between excitatory and inhibitory neurotransmission, ensuring precise regulation of neuronal communication and network stability. Glutamate serves as the principal excitatory neurotransmitter, whereas gamma-aminobutyric acid provides the predominant inhibitory influence within the central nervous system. Disturbances affecting neurotransmitter synthesis, receptor function, ion channel activity, synaptic plasticity, intracellular signaling, or neuronal connectivity may disrupt this physiological balance, producing excessive neuronal excitation and facilitating seizure generation. However, neuronal dysfunction alone cannot adequately explain the complexity of epilepsy, particularly in chronic or drug-resistant forms of the disease.

Increasing scientific evidence demonstrates that epileptogenesis represents a dynamic and progressive biological process involving structural, functional, molecular, and immunological remodeling of the brain. Following an initial neurological insult such as traumatic brain injury, ischemic stroke, infection, prolonged febrile seizures, autoimmune encephalitis, or developmental abnormalities, a cascade of pathological events may gradually transform previously healthy neuronal networks into chronically epileptic circuits. These events include neuronal death, axonal sprouting, dendritic remodeling, synaptic reorganization, gliosis, blood–brain barrier disruption, mitochondrial dysfunction, oxidative stress, inflammatory activation, and persistent alterations in gene expression. Collectively, these mechanisms contribute to progressive network hyperexcitability and establish the biological substrate underlying recurrent spontaneous seizures.

Epilepsy is one of the most common chronic neurological disorders and represents a major global public health challenge because of its high prevalence, recurrent clinical manifestations, and profound impact on patients, families, and healthcare systems. Characterized by recurrent

unprovoked seizures resulting from abnormal, excessive, and synchronous neuronal activity within the central nervous system, epilepsy encompasses a heterogeneous group of disorders with diverse etiologies, clinical presentations, and prognostic outcomes. Although remarkable advances have been achieved in neuroimaging, molecular genetics, electrophysiology, and pharmacotherapy, the complex biological mechanisms underlying epileptogenesis remain incompletely understood. Recent scientific discoveries have substantially expanded the traditional concept of epilepsy from a disorder primarily involving neuronal hyperexcitability to a multifactorial disease in which immune dysregulation, neuroinflammation, genetic susceptibility, structural abnormalities, metabolic disturbances, infectious agents, vascular injury, and environmental influences interact through intricate molecular and cellular pathways to promote seizure initiation, propagation, and chronic disease progression. Growing evidence has identified immunological mechanisms as central contributors to the development and persistence of epilepsy. Activation of innate and adaptive immune responses following brain injury or systemic inflammation initiates a cascade of inflammatory signaling involving activated microglia, astrocytes, infiltrating immune cells, cytokines, chemokines, complement proteins, and damage-associated molecular patterns. These inflammatory mediators alter neuronal excitability by disrupting glutamatergic and gamma-aminobutyric acid neurotransmission, modifying ion channel function, impairing synaptic plasticity, and compromising the integrity of the blood-brain barrier. Autoimmune forms of epilepsy have further emphasized the importance of immune-mediated mechanisms through the identification of neuronal autoantibodies directed against cell-surface and intracellular antigens, leading to distinct clinical syndromes that frequently respond to immunomodulatory therapies. The recognition of these mechanisms has transformed diagnostic approaches and expanded therapeutic opportunities beyond conventional antiseizure medications. In addition to immunological factors, epilepsy arises from numerous pathogenetic mechanisms that frequently coexist and influence disease severity. Genetic mutations affecting ion channels, synaptic proteins, neurotransmitter receptors, and intracellular signaling pathways contribute to inherited epileptic syndromes and modify susceptibility to acquired forms of epilepsy. Structural brain abnormalities, including cortical malformations, hippocampal sclerosis, traumatic brain injury, cerebrovascular disease, neoplasms, and neurodegenerative disorders, disrupt normal neuronal networks and facilitate epileptogenesis. Metabolic disorders, mitochondrial dysfunction, electrolyte imbalances, developmental abnormalities, and central nervous system infections further contribute to disease complexity by altering neuronal metabolism, synaptic connectivity, and network stability. These diverse mechanisms underscore the biological heterogeneity of epilepsy and highlight the importance of individualized diagnostic evaluation and precision-based therapeutic strategies. Despite considerable therapeutic progress, epilepsy continues to present substantial clinical and societal challenges. A significant proportion of patients develop drug-resistant epilepsy despite receiving appropriately selected antiseizure medications, resulting in persistent seizures, cognitive decline, psychiatric comorbidities, increased injury risk, reduced quality of life, and elevated premature mortality. Delayed diagnosis, limited access to specialized neurological care, socioeconomic disparities, healthcare resource limitations, and persistent social stigma remain major barriers to optimal disease management worldwide. Furthermore, epilepsy frequently coexists with depression, anxiety, cognitive impairment, sleep disorders, and other neurological conditions, necessitating comprehensive multidisciplinary approaches that address both seizure control and long-term psychosocial well-being. Pharmacological management remains the cornerstone of epilepsy treatment and aims to achieve complete seizure freedom while minimizing adverse effects and preserving cognitive and functional capacity.

Contemporary antiseizure medications target multiple molecular pathways, including voltage-gated sodium and calcium channels, gamma-aminobutyric acid receptors, glutamate receptors, potassium channels, and synaptic vesicle proteins, thereby reducing neuronal hyperexcitability through complementary mechanisms. The selection of therapy depends upon seizure classification, epilepsy syndrome, patient age, comorbidities, reproductive considerations, pharmacokinetic properties, and potential drug interactions. Emerging precision medicine approaches integrating genomic information, molecular biomarkers, advanced neuroimaging, and immunological profiling are increasingly facilitating individualized treatment selection and improving therapeutic outcomes, particularly in patients with genetically determined or immune-mediated epilepsies. Although modern antiseizure medications have significantly improved disease control, their long-term use is frequently associated with adverse effects that influence treatment adherence and quality of life. Drug-related complications include neuropsychiatric disturbances, cognitive impairment, hepatotoxicity, nephrolithiasis, metabolic abnormalities, hematological disorders, dermatological hypersensitivity reactions, endocrine dysfunction, osteoporosis, teratogenicity, and clinically significant pharmacokinetic interactions. Careful patient monitoring, individualized dose optimization, and early recognition of adverse events are therefore essential components of comprehensive epilepsy management. Future therapeutic developments involving immunomodulatory agents, targeted biological therapies, gene editing technologies, neuromodulation, regenerative medicine, and artificial intelligence-assisted clinical decision-making offer promising opportunities for improving seizure control and modifying disease progression. This scientific discourse synthesizes current evidence regarding the immunological and non-immunological mechanisms of epileptogenesis, examines contemporary diagnostic and therapeutic challenges, evaluates pharmacological management and drug-related complications, and highlights emerging advances that are shaping precision therapeutics and future epilepsy research worldwide.

One of the most significant developments in modern epilepsy research has been the recognition of neuroinflammation as a fundamental contributor to epileptogenesis. Traditionally considered a secondary consequence of seizure activity, inflammatory responses are now understood to actively participate in seizure initiation, propagation, and chronic disease progression. Activation of resident microglia and astrocytes following neurological injury initiates complex inflammatory signaling cascades characterized by the production of cytokines, chemokines, prostaglandins, complement proteins, reactive oxygen species, and numerous other inflammatory mediators. These molecules influence neuronal excitability through multiple mechanisms, including modulation of glutamatergic and inhibitory neurotransmission, alteration of ion channel function, disruption of synaptic plasticity, impairment of mitochondrial metabolism, and increased permeability of the blood–brain barrier. Consequently, neuroinflammation has emerged as both a driver and amplifier of epileptic activity, establishing a self-perpetuating cycle in which seizures promote inflammation and inflammation facilitates additional seizures.

Parallel advances in neuroimmunology have identified autoimmune epilepsy as a distinct clinical entity characterized by immune-mediated neuronal dysfunction. The discovery of neuronal autoantibodies targeting surface receptors, ion channels, and synaptic proteins has fundamentally altered diagnostic and therapeutic approaches to selected forms of epilepsy. Autoimmune epilepsies frequently present with rapidly progressive seizures accompanied by cognitive impairment, psychiatric symptoms, movement disorders, or limbic encephalitis, often demonstrating limited responsiveness to conventional antiseizure medications while responding favorably to immunomodulatory therapies. These observations underscore the

importance of recognizing immune-mediated mechanisms during clinical evaluation and support the integration of immunological biomarkers into diagnostic algorithms.

Beyond immunological factors, remarkable progress in molecular genetics has transformed understanding of inherited epilepsies. Advances in next-generation sequencing technologies have identified hundreds of genes associated with epilepsy, including genes encoding voltage-gated ion channels, neurotransmitter receptors, synaptic proteins, transcription factors, intracellular signaling molecules, and metabolic enzymes. These genetic discoveries have revealed substantial molecular heterogeneity, explaining many previously idiopathic epilepsy syndromes while providing important insights into disease mechanisms. Moreover, genetic findings increasingly influence therapeutic decision-making by identifying patients who may benefit from targeted pharmacological interventions or emerging gene-based therapies. The integration of genomic medicine into epilepsy care represents a major step toward individualized treatment strategies that account for each patient's unique molecular profile.

Structural brain abnormalities constitute another major contributor to epileptogenesis. Cortical malformations, hippocampal sclerosis, cerebrovascular lesions, traumatic brain injury, neoplasms, neurodegenerative diseases, and developmental abnormalities disrupt normal neuronal architecture and facilitate the formation of hyperexcitable neural circuits. Similarly, metabolic disorders, mitochondrial dysfunction, electrolyte disturbances, endocrine abnormalities, and infectious diseases may alter neuronal metabolism and synaptic function, increasing seizure susceptibility through diverse biological pathways. Rather than acting independently, these etiological factors frequently interact with inflammatory and genetic mechanisms, illustrating the multifactorial nature of epilepsy and emphasizing the importance of comprehensive multidisciplinary investigation.

The recognition that epilepsy arises through multiple converging biological mechanisms has substantially altered contemporary concepts of disease pathogenesis. Rather than viewing seizures solely as manifestations of abnormal electrical discharges, modern neuroscience considers epilepsy to be a systems disorder involving complex interactions among neurons, glial cells, vascular structures, immune mediators, extracellular matrix components, and numerous intracellular signaling pathways. These interactions influence neuronal development, synaptic organization, neurotransmitter homeostasis, and network connectivity throughout the lifespan. Consequently, epileptogenesis is increasingly recognized as a dynamic biological process in which molecular and cellular alterations accumulate progressively before the appearance of spontaneous recurrent seizures. This evolving understanding has stimulated extensive research aimed at identifying disease-modifying interventions capable of preventing epilepsy rather than simply suppressing seizure activity.

One of the most transformative developments in epilepsy research has been the growing appreciation of the central role of neuroinflammation in seizure generation and epileptogenesis. In healthy neural tissue, immune surveillance within the central nervous system maintains tissue integrity while preserving the delicate balance required for normal neuronal communication. Following neurological injury or exposure to infectious, metabolic, autoimmune, or traumatic insults, however, this carefully regulated immune environment undergoes profound activation. Resident immune cells, particularly microglia and astrocytes, rapidly respond to tissue damage by adopting activated phenotypes characterized by morphological changes, proliferation, migration, and the production of numerous inflammatory mediators. Although these responses initially serve protective functions by removing damaged cellular components and facilitating tissue repair, persistent or dysregulated neuroinflammation may become detrimental, promoting neuronal dysfunction and enhancing seizure susceptibility.

Microglia represent the principal innate immune cells of the central nervous system and play indispensable roles in maintaining neuronal homeostasis. Under physiological conditions, these highly specialized cells continuously survey the surrounding neural environment, removing cellular debris, regulating synaptic remodeling, supporting neuronal survival, and participating in normal brain development. During epileptogenesis, microglia undergo rapid activation in response to neuronal injury, oxidative stress, blood–brain barrier disruption, and damage-associated molecular patterns released from injured neurons. Activated microglia secrete numerous pro-inflammatory cytokines, chemokines, growth factors, reactive oxygen species, nitric oxide, and complement proteins that profoundly influence neuronal function. While transient microglial activation may contribute to tissue repair and restoration of homeostasis, sustained inflammatory activation creates a pro-epileptogenic environment characterized by enhanced neuronal excitability, impaired inhibitory neurotransmission, and progressive network remodeling.

Astrocytes have likewise emerged as central participants in epilepsy pathogenesis. Historically regarded primarily as structural support cells, astrocytes are now recognized as highly active regulators of neuronal communication, metabolic homeostasis, neurotransmitter recycling, extracellular ion balance, cerebral blood flow, and blood–brain barrier integrity. Astrocytic dysfunction contributes significantly to seizure development through multiple complementary mechanisms. Impaired glutamate uptake results in excessive extracellular glutamate accumulation, increasing excitatory neurotransmission and facilitating neuronal hyperexcitability. Disturbances in potassium buffering alter extracellular ionic homeostasis, lowering seizure threshold and promoting hypersynchronous neuronal firing. Reactive astrocytes additionally produce inflammatory cytokines, chemokines, prostaglandins, and extracellular matrix proteins that further amplify neuroinflammatory responses and contribute to chronic epileptogenesis. These observations highlight the importance of neuron–glia interactions in the maintenance of physiological brain function and demonstrate how disruption of these interactions may transform healthy neural circuits into epileptic networks.

Among the numerous inflammatory mediators implicated in epilepsy, cytokines occupy particularly prominent roles because of their widespread influence on neuronal physiology and immune regulation. Interleukin-1 beta has been extensively investigated as one of the most important pro-inflammatory cytokines involved in seizure generation. Experimental and clinical studies consistently demonstrate increased expression of interleukin-1 beta within epileptic brain tissue following seizures and various neurological insults. This cytokine enhances neuronal excitability by potentiating glutamatergic neurotransmission, reducing inhibitory gamma-aminobutyric acid signaling, increasing intracellular calcium concentrations, and activating intracellular inflammatory signaling pathways. Tumor necrosis factor alpha similarly contributes to epileptogenesis by modulating glutamate receptor trafficking, suppressing inhibitory neurotransmission, and promoting excitotoxic neuronal injury. Elevated concentrations of interleukin-6, high mobility group box one protein, transforming growth factor beta, and numerous chemokines have also been identified in experimental models and patients with epilepsy, collectively illustrating the extensive involvement of inflammatory signaling networks in seizure disorders.

The activation of intracellular inflammatory pathways further amplifies neuroimmune responses during epileptogenesis. Nuclear factor kappa B functions as a master transcriptional regulator controlling the expression of numerous inflammatory genes involved in cytokine production, oxidative stress, apoptosis, and immune activation. Persistent activation of this signaling pathway has been observed in both experimental epilepsy models and human epileptic tissue, suggesting an important role in sustaining chronic neuroinflammation. Similarly,

inflammasome complexes, particularly the nucleotide-binding oligomerization domain-like receptor protein three inflammasome, regulate maturation of interleukin-1 beta and interleukin-18, thereby promoting inflammatory amplification and neuronal hyperexcitability. These intracellular signaling mechanisms illustrate how immune activation extends beyond isolated cytokine production to involve coordinated molecular networks capable of perpetuating chronic inflammatory responses within epileptic brain tissue.

Oxidative stress represents another fundamental biological process closely linked with neuroinflammation and epileptogenesis. The brain possesses exceptionally high metabolic demands while simultaneously exhibiting relatively limited antioxidant capacity, rendering neural tissue particularly vulnerable to oxidative injury. During prolonged seizures and inflammatory activation, excessive production of reactive oxygen species and reactive nitrogen species overwhelms endogenous antioxidant defense mechanisms, resulting in lipid peroxidation, protein oxidation, mitochondrial dysfunction, DNA damage, and neuronal apoptosis. Oxidative stress also enhances inflammatory signaling through activation of redox-sensitive transcription factors and inflammasome pathways, establishing a reciprocal relationship between oxidative injury and neuroinflammation. Consequently, oxidative stress contributes not only to acute seizure-induced neuronal damage but also to progressive structural remodeling underlying chronic epilepsy.

Mitochondrial dysfunction further links inflammatory activation with neuronal hyperexcitability. Mitochondria regulate cellular energy production, calcium homeostasis, apoptosis, and reactive oxygen species generation, making them essential for normal neuronal function. During epileptogenesis, mitochondrial injury impairs adenosine triphosphate synthesis, disrupts intracellular calcium regulation, increases oxidative stress, and activates programmed cell death pathways. Defective mitochondrial function additionally enhances inflammatory signaling by releasing mitochondrial DNA and other damage-associated molecular patterns capable of activating innate immune receptors. This intricate relationship between mitochondrial dysfunction, oxidative stress, inflammation, and neuronal injury has attracted considerable attention as a potential therapeutic target for disease modification.

The integrity of the blood–brain barrier has emerged as another critical determinant of epileptogenesis. Under physiological conditions, the blood–brain barrier maintains strict regulation of molecular exchange between the systemic circulation and the central nervous system, protecting neural tissue from circulating toxins, pathogens, inflammatory mediators, and immune cells. Structural disruption of this barrier following trauma, ischemia, infection, autoimmune inflammation, or prolonged seizures permits infiltration of serum proteins, peripheral leukocytes, cytokines, and other inflammatory molecules into the brain parenchyma. Albumin extravasation activates astrocytic transforming growth factor beta signaling, alters potassium homeostasis, and promotes gliosis, ultimately increasing neuronal excitability. Infiltrating immune cells release additional inflammatory mediators that amplify local neuroinflammation and contribute to persistent seizure susceptibility. The recognition of blood–brain barrier dysfunction as an active participant rather than a passive consequence of epilepsy has generated significant interest in therapeutic strategies aimed at preserving or restoring barrier integrity.

The adaptive immune system also contributes substantially to selected forms of epilepsy. Increasing evidence demonstrates that autoreactive lymphocytes and pathogenic autoantibodies may directly interfere with neuronal function, resulting in autoimmune epilepsies characterized by frequent seizures, cognitive impairment, psychiatric manifestations, and rapid clinical progression. Autoantibodies targeting neuronal surface proteins, including leucine-rich glioma-inactivated protein one, contactin-associated protein-like two, N-methyl-D-aspartate receptors,

gamma-aminobutyric acid receptors, alpha-amino-three-hydroxy-five-methyl-four-isoxazolepropionic acid receptors, and glycine receptors, have transformed understanding of immune-mediated epilepsy. Unlike traditional structural epilepsies, autoimmune epilepsies frequently demonstrate favorable responses to corticosteroids, intravenous immunoglobulin, plasma exchange, rituximab, or other immunomodulatory therapies when recognized promptly. These observations emphasize the importance of early identification of immune-mediated disease and illustrate how advances in neuroimmunology have directly influenced clinical practice.

The distinction between autoimmune epilepsy and autoimmune encephalitis continues to evolve as scientific understanding expands. Although seizures often constitute a major clinical manifestation of autoimmune encephalitis, some patients present predominantly with recurrent seizures before developing overt encephalopathic symptoms. This observation has encouraged clinicians to maintain a high index of suspicion for autoimmune etiologies in patients with rapidly progressive epilepsy, unexplained drug resistance, inflammatory cerebrospinal fluid abnormalities, or characteristic neuroimaging findings. Early immunological evaluation may significantly improve patient outcomes by facilitating timely initiation of disease-specific therapies before irreversible neuronal injury occurs.

Recent advances in molecular neuroscience have further demonstrated that immune activation profoundly influences synaptic plasticity, neuronal connectivity, and long-term network remodeling. Inflammatory mediators regulate dendritic spine morphology, synapse formation, neurotransmitter receptor expression, and axonal growth, thereby modifying neuronal communication far beyond acute inflammatory responses. Persistent activation of these molecular pathways contributes to aberrant circuit reorganization, mossy fiber sprouting, gliosis, and altered inhibitory interneuron function, all of which reinforce chronic epileptic networks. These findings support the concept that inflammation is not merely a consequence of seizures but represents an active biological process driving disease progression and contributing to pharmacoresistance in susceptible individuals.

The remarkable expansion of genomic technologies has fundamentally transformed the understanding of epilepsy by demonstrating that genetic variation contributes to virtually every category of epileptic disorder. Once considered relatively uncommon, monogenic epilepsies are now recognized as important causes of both childhood and adult-onset seizure disorders, while polygenic susceptibility significantly influences the development of acquired epilepsies. The introduction of next-generation sequencing, whole-exome sequencing, whole-genome sequencing, and high-resolution chromosomal analysis has enabled the identification of hundreds of genes associated with epileptogenesis. These discoveries have revealed extraordinary molecular diversity and have challenged traditional classifications based solely upon clinical presentation or electroencephalographic findings. Contemporary evidence indicates that genetic factors interact continuously with environmental influences, immune activation, developmental processes, and structural brain abnormalities, creating complex biological networks that determine seizure susceptibility, disease severity, therapeutic responsiveness, and long-term prognosis.

Many epilepsy-associated genes encode voltage-gated sodium, potassium, calcium, and chloride channels that regulate neuronal membrane excitability. Mutations affecting these ion channels alter membrane depolarization, action potential generation, synaptic transmission, and neuronal firing patterns, producing hyperexcitable neural circuits capable of generating spontaneous seizures. Other pathogenic variants involve neurotransmitter receptors, synaptic vesicle proteins, intracellular signaling molecules, cytoskeletal proteins, transcription factors, and enzymes responsible for cellular metabolism. The functional consequences of these

mutations extend beyond isolated neuronal dysfunction and frequently influence cortical development, synaptic organization, neuronal migration, dendritic maturation, and neural network formation. Consequently, epilepsy-associated genetic abnormalities often coexist with intellectual disability, autism spectrum disorders, developmental delay, movement disorders, and psychiatric conditions, reflecting the extensive biological roles of these genes throughout central nervous system development.

The expanding knowledge of epilepsy genetics has also transformed concepts of precision medicine. Rather than considering epilepsy as a uniform clinical entity requiring standardized treatment, clinicians increasingly recognize that molecular diagnosis may guide individualized therapeutic decisions. Certain genetic epilepsies respond preferentially to specific antiseizure medications, whereas others demonstrate treatment resistance or even paradoxical worsening with particular pharmacological agents. Identification of pathogenic variants therefore provides valuable prognostic information while simultaneously facilitating rational drug selection and genetic counseling. Furthermore, ongoing research into gene replacement therapy, antisense oligonucleotide technology, RNA-targeted therapeutics, viral vector-mediated gene delivery, and genome editing has generated optimism that disease-modifying interventions may become feasible for selected inherited epilepsies in the foreseeable future.

In addition to inherited disorders, epigenetic regulation has emerged as a critical determinant of epileptogenesis. Epigenetics refers to heritable modifications in gene expression that occur without alterations in the underlying DNA sequence. DNA methylation, histone modification, chromatin remodeling, and non-coding RNA regulation collectively influence transcriptional activity and cellular differentiation throughout the nervous system. Increasing evidence indicates that prolonged seizures, neuroinflammation, oxidative stress, metabolic disturbances, and environmental exposures induce persistent epigenetic changes within neuronal and glial cells. These alterations modify the expression of genes regulating neurotransmitter receptors, ion channels, inflammatory mediators, synaptic proteins, and apoptotic pathways, thereby contributing to long-term network hyperexcitability. Because epigenetic modifications remain potentially reversible, they represent attractive therapeutic targets for future disease-modifying interventions.

MicroRNAs constitute another rapidly expanding area of epilepsy research. These small non-coding RNA molecules regulate post-transcriptional gene expression by controlling messenger RNA stability and translation. Numerous microRNAs have been identified as important modulators of neuronal differentiation, synaptic plasticity, neuroinflammation, apoptosis, and oxidative stress. Altered microRNA expression profiles have been observed in experimental epilepsy models as well as in patients with drug-resistant epilepsy, suggesting their potential utility as diagnostic biomarkers, prognostic indicators, and therapeutic targets. Manipulation of disease-associated microRNAs has demonstrated promising antiepileptogenic effects in preclinical studies, although clinical translation remains under active investigation.

Structural abnormalities of the brain remain among the most important causes of epilepsy across all age groups. Developmental malformations of cortical architecture, including focal cortical dysplasia, polymicrogyria, heterotopia, lissencephaly, schizencephaly, and tuberous sclerosis complex, disrupt normal neuronal migration and cortical organization during embryonic development. These abnormalities establish anatomically and functionally abnormal neuronal networks characterized by excessive excitability and impaired inhibitory regulation. Advances in high-resolution magnetic resonance imaging, diffusion tensor imaging, functional neuroimaging, and computational image analysis have significantly improved the detection of subtle structural lesions previously considered radiologically occult. Improved neuroimaging

has consequently enhanced diagnostic accuracy and expanded opportunities for curative epilepsy surgery in carefully selected patients.

Hippocampal sclerosis represents one of the most extensively investigated structural substrates of focal epilepsy, particularly mesial temporal lobe epilepsy. Characterized by selective neuronal loss, gliosis, synaptic reorganization, and chronic inflammatory activation within the hippocampus, this pathological condition exemplifies the intricate relationship among structural injury, neuroinflammation, and persistent neuronal hyperexcitability. The hippocampus plays a fundamental role in memory formation, emotional regulation, and spatial navigation, explaining why patients with mesial temporal lobe epilepsy frequently experience cognitive impairment and psychiatric comorbidities in addition to recurrent seizures. Despite considerable advances in pharmacotherapy, hippocampal sclerosis remains one of the leading indications for epilepsy surgery because many affected individuals develop medically refractory disease.

Traumatic brain injury constitutes another major structural cause of acquired epilepsy. Mechanical injury initiates a complex sequence of biological events including neuronal death, axonal injury, cerebral edema, blood–brain barrier disruption, oxidative stress, mitochondrial dysfunction, inflammatory activation, gliosis, and synaptic remodeling. Although seizures may occur immediately following injury, chronic post-traumatic epilepsy frequently develops after a prolonged latent period during which progressive molecular and structural changes transform injured neural tissue into epileptic networks. The variability of this latent interval provides an important opportunity for investigating antiepileptogenic therapies aimed at preventing disease development before spontaneous seizures become established.

Cerebrovascular disease has emerged as the leading cause of new-onset epilepsy among older adults. Ischemic stroke, intracerebral hemorrhage, cerebral venous thrombosis, vascular malformations, and chronic cerebral small vessel disease all contribute to epileptogenesis through mechanisms involving neuronal ischemia, inflammatory activation, excitotoxic injury, gliosis, and abnormal synaptic reorganization. Age-related neurodegenerative disorders including Alzheimer's disease, Parkinson's disease, frontotemporal dementia, and dementia with Lewy bodies likewise increase seizure susceptibility through progressive neuronal loss, synaptic dysfunction, protein aggregation, and chronic neuroinflammation. The coexistence of epilepsy with neurodegenerative disorders further complicates clinical management because seizures may accelerate cognitive decline and adversely influence functional independence.

Brain tumors represent another important structural etiology of epilepsy. Both primary and metastatic neoplasms alter cortical architecture through direct tissue infiltration, compression, ischemia, inflammatory activation, disruption of neurotransmitter homeostasis, and release of excitatory amino acids. Low-grade gliomas exhibit particularly strong epileptogenic potential, with seizures frequently representing the initial clinical manifestation. The molecular characteristics of individual tumors, including mutations affecting isocitrate dehydrogenase and related metabolic pathways, may further influence epileptogenicity, illustrating the increasingly recognized relationship between oncogenic signaling and neuronal excitability.

Metabolic disturbances constitute a diverse group of reversible and inherited conditions capable of producing seizures through disruption of neuronal energy metabolism and cellular homeostasis. Glucose represents the principal metabolic substrate for neuronal activity, and both hypoglycemia and severe hyperglycemia may impair neuronal function sufficiently to provoke seizures. Electrolyte disturbances involving sodium, calcium, magnesium, and phosphate alter membrane potentials and neurotransmitter release, lowering seizure threshold through disturbances in ionic equilibrium. Hepatic failure, renal insufficiency, mitochondrial disorders, urea cycle defects, lysosomal storage diseases, amino acid metabolism disorders, and

other inherited metabolic abnormalities similarly interfere with neuronal bioenergetics and neurotransmission. Recognition of these conditions is particularly important because prompt correction of underlying metabolic abnormalities may eliminate seizure activity without requiring long-term antiseizure therapy.

Mitochondrial diseases deserve special consideration because of their intimate relationship with neuronal metabolism and epilepsy. Neurons possess exceptionally high energy requirements and depend upon efficient oxidative phosphorylation for maintenance of membrane potentials, neurotransmitter synthesis, calcium homeostasis, and synaptic transmission. Mitochondrial dysfunction therefore predisposes to neuronal instability by reducing adenosine triphosphate production, increasing oxidative stress, impairing calcium buffering, and activating intrinsic apoptotic pathways. Many inherited mitochondrial disorders present with epilepsy as a prominent neurological manifestation, while acquired mitochondrial injury contributes to epileptogenesis following trauma, ischemia, prolonged seizures, and neuroinflammation.

Infectious diseases continue to represent major causes of epilepsy worldwide, particularly within low- and middle-income countries. Viral encephalitis, bacterial meningitis, cerebral malaria, neurocysticercosis, tuberculosis, human immunodeficiency virus infection, fungal infections, and numerous parasitic diseases produce seizures through direct neuronal injury, inflammatory activation, cerebral edema, vascular compromise, and long-term structural remodeling. Persistent neuroinflammation following central nervous system infection frequently continues long after eradication of the infectious organism, suggesting that immune-mediated mechanisms contribute substantially to chronic post-infectious epilepsy. Improved vaccination programs, early antimicrobial therapy, and public health interventions have reduced the incidence of infection-related epilepsy in many regions; however, infectious etiologies remain significant contributors to the global burden of disease.

Environmental influences further interact with genetic susceptibility and biological vulnerability to modify epilepsy risk throughout life. Prenatal exposures, maternal infections, nutritional deficiencies, environmental toxins, alcohol consumption, recreational drugs, sleep deprivation, psychological stress, endocrine disturbances, and repeated head trauma may each influence neuronal development and seizure susceptibility through diverse molecular mechanisms. These observations reinforce the concept that epilepsy arises through dynamic interactions among inherited predisposition, developmental biology, environmental exposures, immune regulation, and structural brain integrity rather than through isolated pathogenic pathways. Such complexity underscores the necessity of multidisciplinary research integrating neuroscience, immunology, genetics, molecular biology, pharmacology, epidemiology, and clinical medicine to achieve a comprehensive understanding of epileptogenesis and to facilitate the development of increasingly effective preventive and therapeutic strategies.

The remarkable progress achieved in understanding the biological mechanisms underlying epilepsy has been paralleled by substantial advances in diagnostic methodologies. Contemporary diagnosis extends far beyond the recognition of recurrent seizure episodes and now incorporates a comprehensive evaluation of clinical manifestations, neurophysiological findings, structural and functional neuroimaging, laboratory investigations, immunological biomarkers, genetic analyses, and increasingly sophisticated computational approaches. This multidimensional diagnostic strategy reflects the recognition that epilepsy is not a single disease but rather a heterogeneous group of disorders with distinct etiologies, molecular mechanisms, therapeutic responses, and prognostic outcomes. Accurate identification of the underlying cause is therefore fundamental for selecting appropriate therapeutic interventions, estimating disease progression, identifying potentially reversible conditions, and providing individualized patient counseling.

Electroencephalography remains one of the most indispensable diagnostic tools in clinical epileptology because of its unique ability to record cortical electrical activity in real time. Continuous refinements in recording techniques, including prolonged video-electroencephalographic monitoring, ambulatory electroencephalography, intracranial electrode implantation, and high-density electroencephalographic systems, have significantly enhanced the ability to localize epileptogenic networks and characterize seizure semiology. Simultaneously, advances in neuroimaging technologies, including ultra-high-field magnetic resonance imaging, functional magnetic resonance imaging, diffusion tensor imaging, positron emission tomography, single-photon emission computed tomography, magnetoencephalography, and multimodal imaging integration, have transformed the visualization of structural and functional abnormalities that were previously undetectable using conventional diagnostic methods. These technological developments have improved diagnostic accuracy while expanding opportunities for individualized surgical planning and precision therapeutics.

The growing integration of molecular diagnostics into routine neurological practice has further strengthened personalized approaches to epilepsy management. Genetic testing is increasingly recommended for patients presenting with developmental epileptic encephalopathies, early-onset epilepsies, familial seizure disorders, treatment-resistant epilepsy, and syndromic neurological conditions. Similarly, autoimmune investigations, including cerebrospinal fluid analysis, neuronal antibody testing, inflammatory biomarkers, and immunophenotyping, have become essential components of the diagnostic evaluation for patients with suspected immune-mediated epilepsy. The convergence of molecular genetics, immunology, neuroimaging, and electrophysiology has therefore established a new paradigm in which epilepsy diagnosis extends beyond descriptive classification toward precise biological characterization.

Despite these remarkable scientific advances, significant diagnostic challenges continue to affect clinical practice. Epilepsy remains one of the most frequently misdiagnosed neurological disorders because numerous medical conditions mimic epileptic seizures. Syncope, psychogenic nonepileptic seizures, transient ischemic attacks, migraine aura, sleep disorders, movement disorders, metabolic disturbances, and certain psychiatric conditions frequently resemble epileptic events, resulting in delayed diagnosis or inappropriate treatment. Conversely, some patients with epilepsy experience prolonged delays before receiving specialized neurological evaluation, particularly within regions where access to advanced diagnostic technologies remains limited. These diagnostic uncertainties emphasize the continuing importance of comprehensive clinical assessment supported by appropriate laboratory and neurophysiological investigations.

The complexity of epilepsy extends beyond diagnosis and encompasses equally challenging therapeutic considerations. Pharmacological therapy remains the primary treatment modality for the majority of patients and has evolved substantially since the introduction of bromides and phenobarbital during the early development of clinical epileptology. Modern antiseizure medications target multiple molecular mechanisms responsible for neuronal excitability, including voltage-gated sodium channels, calcium channels, potassium channels, gamma-aminobutyric acid receptors, glutamate receptors, synaptic vesicle proteins, and intracellular signaling pathways. The availability of numerous pharmacological agents has significantly expanded therapeutic options, enabling clinicians to individualize treatment according to seizure type, epilepsy syndrome, patient characteristics, comorbidities, reproductive status, and potential drug interactions.

Epilepsy is one of the most prevalent and complex chronic neurological disorders, affecting individuals across all age groups, ethnicities, and socioeconomic backgrounds. Characterized

by a persistent predisposition to generate recurrent unprovoked seizures, epilepsy represents a heterogeneous spectrum of neurological conditions rather than a single disease entity. The disorder is associated with diverse etiological factors, variable clinical manifestations, and highly individualized therapeutic responses, reflecting the remarkable complexity of its underlying biological mechanisms. Although epilepsy has traditionally been conceptualized as a disorder of abnormal neuronal excitability and hypersynchronous electrical activity within the cerebral cortex, contemporary advances in neuroscience have profoundly expanded this perspective by revealing intricate interactions among neuronal networks, glial cells, immune mediators, vascular components, genetic determinants, metabolic pathways, and environmental influences. These discoveries have transformed epilepsy research from a predominantly electrophysiological discipline into a multidisciplinary scientific field integrating molecular biology, immunology, genetics, neuropharmacology, systems neuroscience, and precision medicine.

The burden of epilepsy extends well beyond recurrent seizures and encompasses substantial physical, psychological, cognitive, social, and economic consequences. Recurrent seizure activity may interfere with educational attainment, occupational productivity, interpersonal relationships, independent living, and overall quality of life. Individuals living with epilepsy frequently experience psychiatric comorbidities, including depression, anxiety disorders, cognitive dysfunction, sleep disturbances, and psychosocial stress, all of which significantly contribute to disability and increased healthcare utilization. Furthermore, epilepsy remains associated with an elevated risk of injury, sudden unexpected death in epilepsy, status epilepticus, and premature mortality, emphasizing its importance as a major global public health concern. Despite remarkable improvements in diagnostic technologies and pharmacological therapies, a considerable proportion of patients continue to experience uncontrolled seizures, highlighting persistent gaps in understanding disease mechanisms and therapeutic responsiveness.

The International League Against Epilepsy defines epilepsy as a disease of the brain characterized by an enduring predisposition to generate epileptic seizures and by the neurobiological, cognitive, psychological, and social consequences resulting from this condition. This definition reflects the recognition that epilepsy encompasses much more than episodic seizure events and instead represents a chronic neurological disorder involving complex alterations in brain structure and function. The diagnosis is generally established following recurrent unprovoked seizures or after a single seizure when the probability of recurrence is sufficiently high based on clinical, electrophysiological, neuroimaging, or genetic findings. Modern classification systems incorporate seizure type, epilepsy syndrome, underlying etiology, associated comorbidities, and developmental considerations to facilitate individualized diagnosis and therapeutic planning. This multidimensional classification framework acknowledges the remarkable heterogeneity of epilepsy and underscores the importance of comprehensive clinical evaluation.

Globally, epilepsy affects more than fifty million individuals and remains among the leading causes of neurological disability. Although the disorder occurs worldwide, its epidemiology varies considerably according to geographical region, socioeconomic status, healthcare accessibility, environmental exposures, and population demographics. Higher incidence rates are consistently observed in low- and middle-income countries, where infectious diseases, traumatic brain injury, perinatal complications, malnutrition, and limited access to healthcare services contribute substantially to disease burden. Conversely, high-income countries demonstrate increasing incidence among older adults, largely attributable to cerebrovascular disease, neurodegenerative disorders, brain tumors, and age-related neurological conditions.

These epidemiological differences illustrate the multifactorial nature of epilepsy and highlight the influence of both biological and environmental determinants on disease occurrence.

The global impact of epilepsy extends beyond individual health outcomes and imposes significant socioeconomic challenges upon healthcare systems and society. Direct medical expenditures include diagnostic investigations, long-term pharmacotherapy, emergency care, hospital admissions, epilepsy surgery, rehabilitation services, and specialized neurological consultations. Indirect costs arise from unemployment, reduced work productivity, caregiver burden, educational limitations, disability, and premature mortality. Social stigma remains a persistent challenge across many cultures, frequently resulting in discrimination, social isolation, reduced educational opportunities, delayed diagnosis, and inadequate access to treatment. Misconceptions surrounding epilepsy continue to influence public attitudes and healthcare-seeking behaviors, particularly in resource-limited settings where traditional beliefs may delay evidence-based medical intervention. Consequently, effective epilepsy management requires not only scientific innovation but also comprehensive public health strategies addressing education, awareness, healthcare accessibility, and social inclusion.

The concept of individualized pharmacotherapy has become increasingly important because patients exhibit substantial variability in therapeutic response and adverse effect susceptibility. Age, sex, body composition, genetic polymorphisms, hepatic and renal function, concomitant medications, nutritional status, pregnancy, and underlying disease mechanisms all influence drug absorption, distribution, metabolism, elimination, and pharmacodynamic activity. Pharmacogenomic investigations have demonstrated that genetic variation affecting drug-metabolizing enzymes, transporter proteins, and molecular drug targets contributes significantly to interindividual differences in efficacy and toxicity. These observations have stimulated growing interest in precision pharmacology, which seeks to optimize therapeutic outcomes through individualized drug selection and dosage adjustment based upon molecular and clinical characteristics.

Although antiseizure medications successfully achieve sustained seizure control in many individuals, a substantial proportion of patients continue to experience persistent seizures despite appropriate pharmacological therapy. Drug-resistant epilepsy remains one of the most significant challenges in contemporary neurology and continues to stimulate intensive investigation into the biological mechanisms responsible for therapeutic failure. Multiple hypotheses have been proposed to explain pharmacoresistance, including alterations in drug transport across the blood–brain barrier, overexpression of multidrug resistance proteins, persistent neuroinflammation, structural network reorganization, genetic variation affecting molecular drug targets, epigenetic modifications, and progressive neuronal degeneration. These mechanisms likely interact in complex and dynamic ways rather than functioning independently, reflecting the extraordinary biological heterogeneity of treatment-resistant epilepsy.

The consequences of uncontrolled epilepsy extend far beyond recurrent seizure activity. Persistent seizures are associated with progressive cognitive impairment, psychiatric disorders, educational disruption, occupational limitations, reduced social participation, impaired quality of life, increased healthcare utilization, and elevated mortality. Repeated seizures may themselves contribute to cumulative neuronal injury through excitotoxicity, oxidative stress, inflammatory activation, and progressive synaptic remodeling, thereby reinforcing chronic epileptic networks and further reducing treatment responsiveness. This vicious cycle underscores the importance of early diagnosis, prompt initiation of effective therapy, and continuous reassessment of treatment strategies in patients who fail to achieve satisfactory seizure control.

The emergence of precision medicine represents one of the most promising developments in contemporary epilepsy research. Precision medicine seeks to tailor diagnostic evaluation, therapeutic selection, and long-term management according to each patient's unique biological characteristics rather than relying exclusively upon generalized treatment algorithms. The integration of genomic sequencing, transcriptomics, proteomics, metabolomics, immunophenotyping, advanced neuroimaging, electrophysiological biomarkers, and artificial intelligence-driven analytical methods provides unprecedented opportunities to characterize the molecular basis of individual epilepsies. Such comprehensive biological profiling has the potential to identify novel therapeutic targets, predict treatment response, estimate prognosis, and facilitate early intervention before irreversible neuronal damage occurs.

Artificial intelligence and machine learning have likewise begun to influence epilepsy research and clinical practice. Computational algorithms capable of analyzing large multidimensional datasets are increasingly applied to electroencephalographic interpretation, seizure prediction, neuroimaging analysis, pharmacological optimization, and outcome prediction. Wearable technologies, implantable neurophysiological monitoring systems, digital biomarkers, and remote patient monitoring platforms further expand opportunities for continuous assessment of seizure activity, medication adherence, sleep patterns, and physiological variables relevant to epilepsy management. These technological innovations are expected to enhance individualized clinical decision-making while improving patient engagement and long-term disease monitoring.

Parallel advances in immunotherapy have opened new therapeutic possibilities for patients with immune-mediated epilepsies. Recognition that inflammation contributes actively to epileptogenesis has stimulated investigation of corticosteroids, intravenous immunoglobulin, plasma exchange, monoclonal antibodies, cytokine inhibitors, complement inhibitors, and other targeted immunomodulatory agents capable of modifying inflammatory pathways involved in seizure generation. Although conventional antiseizure medications remain indispensable for symptomatic seizure control, emerging immunological therapies may offer disease-modifying benefits by interrupting pathological mechanisms responsible for chronic epileptogenesis. Continued translational research is therefore essential for identifying biomarkers capable of predicting therapeutic responsiveness and guiding individualized immunological interventions.

Gene-based therapies constitute another rapidly evolving frontier in epilepsy research. Viral vector-mediated gene replacement, antisense oligonucleotide technology, messenger RNA therapeutics, RNA interference, CRISPR-associated genome editing, and epigenetic modulation have demonstrated encouraging results in experimental models of inherited epilepsies. Although significant technical, ethical, and safety challenges remain, these innovative strategies hold considerable promise for correcting the underlying molecular defects responsible for selected genetic epilepsies rather than merely suppressing seizure manifestations. Similarly, stem cell therapy, regenerative medicine, and neuronal circuit reconstruction are being actively investigated as potential approaches for restoring damaged neural networks and modifying disease progression.

Notwithstanding these advances, epilepsy continues to present profound global healthcare challenges. Considerable disparities persist in access to diagnostic technologies, antiseizure medications, epilepsy surgery, specialized neurological care, and rehabilitation services, particularly within resource-limited settings. Social stigma, cultural misconceptions, inadequate public awareness, and insufficient healthcare infrastructure continue to delay diagnosis and compromise long-term treatment adherence. Addressing these challenges requires coordinated international efforts involving clinicians, researchers, policymakers,

patient advocacy organizations, and public health authorities to ensure equitable access to evidence-based epilepsy care worldwide.

The rapidly expanding understanding of epilepsy biology has therefore established the foundation for a new era of translational neuroscience in which discoveries from molecular biology, immunology, genetics, pharmacology, and computational science increasingly inform clinical practice. Continued integration of these disciplines is expected to facilitate earlier diagnosis, more accurate disease classification, individualized therapeutic selection, improved prediction of clinical outcomes, and the development of genuinely disease-modifying interventions. Nevertheless, significant knowledge gaps remain regarding the complex interactions among immune activation, genetic susceptibility, structural brain remodeling, environmental influences, and pharmacoresistance. Addressing these unresolved questions represents one of the foremost priorities of contemporary neurological research.

Against this scientific background, the present review provides a comprehensive and critical synthesis of current knowledge regarding epilepsy with particular emphasis on immunological pathogenesis, non-immunological pathogenetic mechanisms, contemporary diagnostic challenges, pharmacological management, drug-related complications, precision therapeutics, and emerging research directions. By integrating recent advances from basic science, translational research, and clinical medicine, this review aims to provide an updated academic perspective on the multifactorial biology of epilepsy while highlighting opportunities for future investigation and the development of innovative therapeutic strategies capable of improving patient outcomes on a global scale.

Goal

The primary goal of this scientific review is to provide an integrated, evidence-based examination of epilepsy by synthesizing contemporary knowledge regarding its neuroimmunological and molecular pathogenesis, diagnostic complexities, pharmacological management, treatment-related complications, pharmacoresistance, and emerging precision therapeutic strategies. The review aims to clarify the complex interactions among genetic susceptibility, neuronal hyperexcitability, neuroinflammation, immune dysregulation, synaptic dysfunction, glial activation, and network remodeling in epileptogenesis. It further seeks to evaluate advances in diagnostic methodologies, antiseizure pharmacotherapy, pharmacogenomics, biomarker development, personalized treatment selection, and emerging disease-modifying interventions. Particular emphasis is placed on translating scientific discoveries into clinically applicable strategies that improve seizure control, minimize adverse outcomes, and enhance individualized patient care. Ultimately, the goal is to identify current knowledge gaps and future research priorities capable of advancing global epilepsy management through precision medicine, multidisciplinary collaboration, innovative therapeutics, and evidence-based clinical practice.

Methodology

This review was conducted using a comprehensive narrative literature review methodology designed to synthesize and critically evaluate the current body of scientific evidence concerning epilepsy, with particular emphasis on immunological pathogenesis, non-immunological pathogenetic mechanisms, diagnostic challenges, pharmacological management, drug-related complications, precision therapeutics, and emerging research directions. The review adopted an evidence-based approach by integrating findings from basic science, translational research, clinical investigations, systematic reviews, meta-analyses, consensus statements, and

international clinical practice guidelines to provide a multidisciplinary perspective on the evolving understanding of epilepsy.

The literature search focused on peer-reviewed publications indexed in internationally recognized biomedical databases, including PubMed/MEDLINE, Scopus, Web of Science, Embase, Google Scholar, and the Cochrane Library. Additional evidence was identified through reference screening of relevant review articles, clinical guidelines, and landmark publications in the fields of neurology, neuroscience, neuroimmunology, neuropharmacology, molecular genetics, and translational medicine. International recommendations and classification systems published by professional organizations, including the International League Against Epilepsy and other authoritative neurological societies, were also considered to ensure consistency with current diagnostic and therapeutic standards.

The search strategy employed combinations of Medical Subject Headings and free-text keywords related to epilepsy and its biological mechanisms. Search terms included epilepsy, epileptogenesis, seizure disorders, neuroinflammation, autoimmune epilepsy, neuroimmunology, cytokines, chemokines, microglia, astrocytes, blood–brain barrier, ion channel dysfunction, genetics of epilepsy, molecular mechanisms, structural epilepsy, metabolic epilepsy, infectious epilepsy, pharmacological management, antiseizure medications, antiseizure drug resistance, adverse drug reactions, precision medicine, immunotherapy, neuromodulation, epilepsy surgery, biomarkers, and translational neuroscience. Boolean operators, phrase searching, and database-specific indexing strategies were applied to optimize search sensitivity and specificity while minimizing retrieval bias.

The review primarily considered articles published in high-impact, peer-reviewed scientific journals to ensure the inclusion of robust and reliable evidence. Priority was given to recent publications reflecting contemporary advances in epilepsy research, while historically significant studies that established fundamental concepts in epileptology were incorporated when necessary to provide scientific context and demonstrate the evolution of current knowledge. Publications describing original experimental research, observational studies, randomized controlled trials, systematic reviews, meta-analyses, consensus recommendations, and evidence-based clinical guidelines were preferentially included because of their substantial contribution to understanding disease mechanisms and clinical management.

Studies were selected according to their scientific relevance, methodological quality, clinical significance, and direct relationship to the objectives of the review. Particular emphasis was placed on investigations exploring immune-mediated mechanisms of epileptogenesis, inflammatory signaling pathways, molecular and genetic determinants, blood–brain barrier dysfunction, and mechanisms of pharmacoresistance, precision therapeutic approaches, and the safety profiles of antiseizure medications. Articles with limited scientific rigor, insufficient methodological transparency, duplicate findings, or minimal relevance to the review objectives were excluded from detailed analysis to maintain the academic quality and consistency of the synthesized evidence.

Information extracted from the selected literature was critically analyzed and organized into thematic domains reflecting the major biological and clinical dimensions of epilepsy. These domains included immunological mechanisms, neuroinflammatory pathways, genetic and molecular determinants, structural and developmental abnormalities, metabolic and infectious etiologies, diagnostic advances, pharmacological treatment strategies, adverse drug reactions, mechanisms of drug resistance, precision medicine, and future therapeutic perspectives. Findings from multiple disciplines were integrated to identify areas of agreement, ongoing controversies, emerging concepts, and existing knowledge gaps requiring further scientific investigation.

A qualitative evidence synthesis approach was employed to compare and interpret findings across experimental, translational, and clinical studies. Rather than presenting isolated results, the review emphasizes the relationships among molecular mechanisms, immune responses, neuronal network dysfunction, and therapeutic outcomes to provide a comprehensive understanding of epileptogenesis and disease progression. Where conflicting evidence existed, methodological differences, study design, sample characteristics, and potential sources of bias were considered to facilitate balanced interpretation and identify priorities for future research.

Although every effort was made to include the most relevant and scientifically rigorous evidence, this review possesses limitations inherent to narrative literature reviews. Variability in study design, patient populations, experimental methodologies, outcome measures, and publication periods may influence the comparability of findings. In addition, ongoing advances in molecular neuroscience, neuroimmunology, genetics, and precision therapeutics continue to expand the available evidence, making periodic updates necessary to maintain clinical and scientific relevance. Nevertheless, the multidisciplinary and evidence-based approach adopted in this review provides a comprehensive and contemporary synthesis of current knowledge regarding epilepsy and establishes a strong scientific foundation for future investigations aimed at improving diagnosis, individualized treatment, and long-term clinical outcomes.

RESULTS AND DISCUSSION

Epilepsy represents one of the most prevalent and clinically significant chronic neurological disorders affecting populations worldwide. Characterized by a persistent predisposition to generate epileptic seizures and associated neurobiological, cognitive, psychological, and social consequences, epilepsy constitutes a major global health challenge. The disorder affects individuals across all age groups, geographical regions, ethnic backgrounds, and socioeconomic environments, producing substantial individual disability and placing considerable burdens on healthcare systems. Despite remarkable progress in neuroscience, pharmacology, genetics, neuroimaging, and immunology, epilepsy continues to be associated with diagnostic complexity, therapeutic limitations, medication-related complications, and significant unmet clinical needs.

Historically, epilepsy was primarily conceptualized as a disorder of abnormal electrical activity resulting from excessive neuronal synchronization. Although this fundamental concept remains valid, contemporary research has substantially expanded this perspective by demonstrating that epilepsy represents a complex biological disease involving multiple interacting mechanisms at molecular, cellular, network, and systemic levels. Current understanding recognizes epilepsy as a dynamic disorder characterized by disturbances in neuronal excitability, impaired inhibitory control, abnormal synaptic organization, neuroinflammatory activation, genetic susceptibility, metabolic dysfunction, vascular alterations, and progressive remodeling of neural circuits.

The modern concept of epilepsy has therefore evolved from a purely electrophysiological disorder toward a multidimensional neurological condition in which abnormal electrical activity represents the final manifestation of complex underlying biological processes. This paradigm shift has transformed research priorities from simply controlling seizures toward understanding epileptogenesis, identifying disease-modifying interventions, and developing personalized therapeutic strategies.

The global impact of epilepsy extends beyond seizure occurrence. Individuals with epilepsy frequently experience impaired quality of life, cognitive dysfunction, psychiatric comorbidities, educational limitations, occupational challenges, social stigma, and increased mortality risk. Sudden unexpected death in epilepsy, seizure-related injuries, treatment complications, and

psychiatric disorders contribute substantially to disease burden. These consequences highlight the importance of comprehensive management strategies that address not only seizure control but also neurological function, psychological well-being, and social integration.

The scientific understanding of epilepsy has undergone remarkable transformation over centuries. Early interpretations often associated epilepsy with supernatural or unexplained phenomena, reflecting limited understanding of neurological mechanisms. The development of modern neuroscience gradually established epilepsy as a disorder of brain function, with pioneering discoveries in neurophysiology demonstrating the relationship between abnormal neuronal activity and seizure generation.

The introduction of electroencephalography represented a major milestone by providing objective evidence of abnormal electrical patterns associated with epilepsy. This technological advancement transformed diagnosis and allowed clinicians to classify seizure disorders according to electrophysiological characteristics. However, subsequent research revealed that electroencephalographic abnormalities represented only one component of a much broader pathological process.

The discovery of neurotransmitter systems, ion channels, synaptic mechanisms, and molecular signaling pathways fundamentally changed understanding of seizure generation. Research demonstrated that epileptic activity emerges from disruptions in the delicate balance between neuronal excitation and inhibition. Excessive glutamatergic transmission, impaired gamma-aminobutyric acid-mediated inhibition, abnormal ion channel function, and altered synaptic connectivity became recognized as central contributors to epileptic network formation.

Pharmacological development followed this expanding biological understanding. Early antiseizure medications were discovered through empirical observation, while modern drug development increasingly focuses on specific molecular targets. Although numerous effective medications have been introduced, most remain symptomatic therapies that suppress seizures without preventing the underlying development of epilepsy. This limitation represents one of the central challenges driving contemporary epilepsy research.

Epilepsy affects millions of individuals globally and represents a major contributor to neurological disability. The disease burden is particularly significant in low- and middle-income countries, where limited healthcare resources, inadequate access to diagnostic technologies, medication shortages, and social stigma contribute to poor outcomes. Although effective treatments exist, a substantial proportion of individuals worldwide remain untreated or undertreated due to healthcare inequalities.

The epidemiology of epilepsy demonstrates considerable variation according to age, geographic region, genetic background, environmental exposures, and healthcare accessibility. The highest incidence rates occur among young children and older adults, reflecting the influence of developmental abnormalities, genetic disorders, neurodegenerative processes, vascular disease, and acquired neurological injuries.

Childhood epilepsy represents a particularly important clinical challenge because seizures occurring during critical periods of brain development may interfere with cognitive maturation, language acquisition, behavioral regulation, and educational achievement. Developmental epileptic encephalopathies represent severe examples in which epileptic activity itself contributes to neurological deterioration beyond the effects of the underlying genetic or structural abnormality.

In older adults, epilepsy frequently develops secondary to cerebrovascular disease, neurodegenerative disorders, tumors, and traumatic injuries. Management in this population is complicated by increased medication sensitivity, polypharmacy, altered pharmacokinetics, and

higher prevalence of cognitive impairment. These age-related differences emphasize the importance of individualized therapeutic strategies throughout the lifespan.

Epileptogenesis refers to the complex biological process through which a normal brain becomes capable of generating spontaneous recurrent seizures. This process may occur following various initiating events, including traumatic brain injury, stroke, infection, autoimmune inflammation, developmental abnormalities, genetic mutations, or metabolic disturbances. Importantly, epileptogenesis is not an immediate event but rather a progressive transformation involving multiple interacting cellular and molecular mechanisms.

Following an initiating insult, the brain undergoes a cascade of pathological responses including neuronal injury, inflammatory activation, oxidative stress, disruption of the blood–brain barrier, synaptic reorganization, neuronal loss, and abnormal network connectivity. These changes gradually create a hyperexcitable environment capable of sustaining epileptic activity.

Neuroinflammation represents one of the most important components of epileptogenesis. Activation of microglia and astrocytes following injury leads to increased production of inflammatory mediators, including cytokines and chemokines. These molecules influence neuronal excitability by modifying ion channel expression, altering neurotransmitter receptor function, and affecting synaptic plasticity.

Oxidative stress and mitochondrial dysfunction further contribute to epileptogenesis by impairing neuronal energy regulation and increasing vulnerability to cellular damage. Because neurons require substantial energy resources to maintain membrane potential and synaptic communication, disturbances in mitochondrial function can significantly influence seizure susceptibility.

Structural remodeling of neuronal networks represents another major mechanism. Following injury or chronic seizure activity, abnormal axonal sprouting, synaptic reorganization, and changes in neuronal connectivity may create recurrent excitatory circuits capable of maintaining epileptic activity. These network alterations explain why epilepsy may persist even after the initial cause has resolved.

The recognition of immune mechanisms in epilepsy represents one of the most important advances in modern epileptology. Although epilepsy was historically considered primarily a non-inflammatory neurological disorder, extensive evidence now demonstrates that immune responses contribute significantly to seizure generation and disease progression.

Autoimmune epilepsy provides the clearest example of immune-mediated seizure disorders. In these conditions, antibodies directed against neuronal surface proteins, intracellular antigens, or synaptic components alter neuronal function and produce clinical manifestations ranging from isolated seizures to severe encephalopathy. Antibodies targeting receptors and ion channels can disrupt synaptic transmission, modify neuronal excitability, and interfere with normal network regulation.

Beyond antibody-mediated mechanisms, innate immune activation contributes broadly to epileptic pathology. Microglia, the resident immune cells of the central nervous system, respond to injury and abnormal neuronal activity by releasing inflammatory mediators. While acute microglial activation may support repair processes, chronic activation promotes neuronal dysfunction and pathological remodeling.

The interaction between immune signaling and neuronal excitability is bidirectional. Seizure activity promotes inflammatory activation, while inflammatory mediators increase neuronal excitability and seizure susceptibility. This positive feedback cycle may contribute to seizure recurrence and progression toward chronic epilepsy.

The growing recognition of immune mechanisms has important therapeutic implications. Identification of immune-responsive epilepsy subtypes has created opportunities for targeted

immunotherapy, including corticosteroids, intravenous immunoglobulin, plasma exchange, and biologically targeted immune interventions. However, broader application requires improved biomarkers capable of identifying patients with immune-driven disease mechanisms.

The development of genomic technologies has fundamentally transformed the understanding of epilepsy by revealing that genetic factors contribute to a wide spectrum of epileptic disorders. Epilepsy genetics has progressed from the identification of rare familial syndromes to the recognition that genetic variation influences neuronal excitability, synaptic organization, brain development, metabolism, and immune regulation. Current evidence demonstrates that epilepsy is not determined by a single genetic mechanism but represents a complex interaction between multiple genetic variants, epigenetic modifications, and environmental factors.

Genetic epilepsies may result from mutations affecting ion channels, neurotransmitter receptors, synaptic proteins, transcription factors, metabolic pathways, and developmental processes. Ion channel genes represent one of the most extensively studied categories because neuronal electrical activity depends fundamentally on precise regulation of sodium, potassium, calcium, and chloride fluxes across cellular membranes. Alterations in these channels can modify action potential generation, neuronal firing thresholds, and network synchronization, creating conditions favorable for seizure development.

Voltage-gated sodium channel abnormalities represent a well-established mechanism in epilepsy pathogenesis. Sodium channels regulate rapid depolarization during neuronal action potentials, and pathogenic variants affecting channel activation, inactivation, or expression may result in neuronal hyperexcitability. Disorders associated with sodium channel dysfunction demonstrate considerable phenotypic variability, ranging from mild febrile seizure syndromes to severe developmental epileptic encephalopathies. These observations illustrate the importance of molecular characterization in understanding clinical diversity.

Potassium channel dysfunction represents another important genetic mechanism because potassium currents regulate neuronal repolarization and control the duration of electrical activity. Impaired potassium channel function can prolong neuronal excitation and increase susceptibility to abnormal synchronization. Similarly, calcium channel abnormalities influence neurotransmitter release, intracellular signaling, and neuronal development, further demonstrating the interconnected nature of genetic mechanisms underlying epilepsy.

Beyond ion channels, mutations affecting synaptic proteins contribute substantially to epilepsy pathogenesis. Synaptic communication depends on precise coordination of neurotransmitter release, receptor activation, vesicle recycling, and structural organization of synaptic connections. Genetic disruption of these processes can alter excitatory and inhibitory signaling, leading to abnormal network activity. The identification of synaptic gene mutations has expanded understanding of epilepsy from a disorder of electrical activity toward a disorder of neuronal communication.

Genetic mechanisms also influence developmental processes involved in cortical organization. Abnormal neuronal migration, cortical layering, and brain maturation can result in structural abnormalities capable of generating epileptic activity. Developmental malformations of cortical development represent a major cause of drug-resistant epilepsy, particularly in childhood. Molecular studies have demonstrated that disturbances in pathways regulating cell proliferation, migration, and differentiation contribute to these disorders.

Mitochondrial genetics represents another important area of investigation. Because neurons require substantial energy production to maintain electrical stability, mitochondrial dysfunction can increase vulnerability to seizures. Defects in mitochondrial DNA, oxidative phosphorylation pathways, and cellular energy metabolism may produce epilepsy associated with developmental delay, neurological deterioration, and multisystem disease.

The increasing recognition of polygenic influences has further complicated understanding of epilepsy genetics. Many common epilepsy forms result from the combined effects of multiple genetic variants, each contributing modestly to disease susceptibility. These complex genetic interactions explain why individuals with similar clinical characteristics may demonstrate different disease trajectories and treatment responses.

A fundamental principle underlying epilepsy pathophysiology is the disruption of the balance between neuronal excitation and inhibition. Normal brain activity requires precise regulation between excitatory and inhibitory signals, allowing appropriate information processing while preventing uncontrolled neuronal synchronization. Epileptic seizures occur when this balance shifts toward excessive excitation, insufficient inhibition, or abnormal synchronization of neuronal networks.

Glutamate represents the primary excitatory neurotransmitter within the central nervous system and plays essential roles in learning, memory, and synaptic plasticity. However, excessive glutamatergic activity contributes to seizure generation and neuronal injury through excitotoxic mechanisms. Overactivation of glutamate receptors, particularly N-methyl-D-aspartate receptors, increases intracellular calcium accumulation, activates destructive enzymatic pathways, promotes oxidative stress, and contributes to neuronal degeneration.

Gamma-aminobutyric acid represents the principal inhibitory neurotransmitter responsible for maintaining neuronal stability. Reduced gamma-aminobutyric acid-mediated inhibition may occur through alterations in receptor expression, impaired synthesis, abnormal metabolism, or changes in chloride regulation. These disturbances decrease inhibitory control and increase the likelihood of pathological neuronal synchronization.

The chloride gradient within neurons has emerged as an important regulator of inhibitory signaling. During early brain development and certain pathological conditions, altered chloride transporter expression may cause gamma-aminobutyric acid signaling to become less inhibitory or even excitatory. Such mechanisms contribute to developmental epilepsies and provide potential therapeutic targets.

Synaptic plasticity also plays a critical role in epileptogenesis. While normal plasticity allows adaptation and learning, excessive or abnormal plastic changes following injury may produce persistent alterations in neural circuits. Recurrent seizures themselves can reinforce these pathological networks, creating a self-perpetuating cycle of increased seizure susceptibility.

Structural abnormalities of the brain represent major contributors to epilepsy development and treatment resistance. Structural epilepsy may arise from congenital malformations, tumors, vascular abnormalities, hippocampal sclerosis, traumatic injuries, infections, and acquired cortical lesions. These conditions create abnormal neuronal environments capable of generating spontaneous epileptic activity.

Hippocampal sclerosis, particularly affecting the mesial temporal structures, remains one of the most common pathological findings associated with focal epilepsy. Characterized by neuronal loss, gliosis, and network reorganization, hippocampal sclerosis alters normal hippocampal circuitry and promotes abnormal excitatory connections. These changes contribute significantly to temporal lobe epilepsy and frequently correlate with pharmacoresistance.

Focal cortical dysplasia represents another important structural cause of epilepsy, particularly in children and young adults. Abnormal cortical development results in disrupted neuronal organization, abnormal cell morphology, and altered electrical properties. Advances in molecular pathology have revealed that many cortical malformations involve abnormalities in developmental signaling pathways, particularly those regulating cell growth and differentiation.

Tumor-associated epilepsy provides additional evidence regarding interactions between structural pathology, inflammation, and neuronal excitability. Low-grade brain tumors may

produce seizures through alterations in surrounding neuronal networks, inflammatory signaling, abnormal neurotransmitter metabolism, and disruption of the blood–brain barrier. Understanding these mechanisms has improved surgical planning and therapeutic strategies.

The concept of epileptic networks has replaced older models that focused on isolated seizure-producing lesions. Modern investigations demonstrate that seizures emerge from interactions among interconnected brain regions rather than a single anatomical location. Network analysis using functional imaging, electroencephalography, and computational modeling has provided deeper understanding of seizure propagation and potential therapeutic targets.

Metabolism represents a fundamental component of neuronal stability because electrical activity requires continuous energy production. The brain consumes a substantial proportion of total body energy despite representing a relatively small percentage of body mass. Disruption of metabolic pathways can therefore profoundly affect neuronal excitability and seizure susceptibility.

Mitochondria regulate energy production, calcium homeostasis, oxidative balance, and apoptotic signaling. Mitochondrial dysfunction contributes to epilepsy through impaired ATP generation, increased oxidative stress, abnormal calcium regulation, and altered neuronal survival pathways. These mechanisms are particularly relevant in mitochondrial epilepsies but also contribute to acquired forms of epilepsy.

Oxidative stress represents another important pathological mechanism. Excessive production of reactive oxygen species damages cellular components, including proteins, lipids, and DNA. Seizures themselves generate oxidative stress, creating a cycle in which neuronal injury promotes further seizure susceptibility.

The relationship between metabolism and epilepsy is clinically demonstrated by the effectiveness of ketogenic dietary therapies. By shifting energy metabolism from glucose utilization toward ketone body metabolism, ketogenic interventions alter mitochondrial function, neurotransmitter balance, and neuronal excitability. The success of metabolic therapies supports the concept that epilepsy involves fundamental alterations in cellular energy regulation.

The blood–brain barrier plays a critical role in maintaining cerebral homeostasis by regulating molecular exchange between the circulation and nervous tissue. Disruption of this protective system has increasingly been recognized as a contributor to epilepsy development and progression.

Following brain injury, inflammation, infection, or prolonged seizure activity, blood–brain barrier integrity may become compromised. Increased permeability allows infiltration of immune mediators, changes extracellular ion concentrations, and exposes neural tissue to circulating factors capable of promoting hyperexcitability.

The neurovascular unit, consisting of endothelial cells, astrocytes, pericytes, neurons, and immune components, regulates communication between vascular and neural systems. Dysfunction of this integrated system contributes to inflammation, impaired metabolic support, and abnormal neuronal regulation.

Understanding blood–brain barrier mechanisms may provide new therapeutic opportunities. Strategies aimed at preserving vascular integrity and reducing inflammatory permeability changes may complement existing antiseizure treatments and contribute to disease modification.

Despite major advances in diagnostic technology, epilepsy diagnosis remains challenging because of clinical variability and biological complexity. Seizure manifestations may differ significantly among patients, and distinguishing epileptic seizures from non-epileptic events

requires careful evaluation using clinical history, electroencephalography, imaging, and specialized testing.

Delayed diagnosis remains a significant global problem. Many individuals experience prolonged periods without appropriate treatment due to limited access to neurological services, lack of awareness, or misinterpretation of symptoms. Early diagnosis is essential because uncontrolled seizures may contribute to cognitive decline, psychosocial consequences, and increased mortality risk.

Treatment selection also remains challenging because response to antiseizure medications varies considerably. Factors influencing therapeutic success include seizure type, epilepsy syndrome, genetic background, comorbidities, pharmacokinetic characteristics, and underlying pathology. The absence of reliable predictive biomarkers often results in empirical treatment approaches.

Drug-resistant epilepsy represents one of the greatest challenges in contemporary epileptology. Failure of multiple appropriately selected antiseizure medications indicates the presence of complex biological mechanisms that cannot be overcome through conventional pharmacological strategies alone. These patients require comprehensive evaluation for alternative approaches including surgery, neuromodulation, dietary therapy, immunotherapy, and emerging molecular treatments.

Pharmacological therapy remains the cornerstone of epilepsy management and represents the primary intervention for achieving seizure control in the majority of affected individuals. Over the past century, the development of antiseizure medications has substantially improved clinical outcomes and transformed epilepsy from a disorder frequently associated with severe disability into a condition that can often be effectively managed. However, despite extensive therapeutic advances, current pharmacological approaches remain limited by incomplete efficacy, drug resistance, adverse effects, and the inability to prevent or reverse epileptogenesis.

The fundamental objective of antiseizure medication therapy is the reduction of neuronal hyperexcitability and prevention of seizure propagation. Available medications act through several major mechanisms, including modulation of voltage-gated ion channels, enhancement of inhibitory neurotransmission, reduction of excitatory signaling, regulation of synaptic vesicle release, and alteration of neurotransmitter metabolism. Although these mechanisms effectively reduce seizure frequency, they primarily target the expression of seizures rather than the biological processes responsible for epilepsy development.

Traditional antiseizure medications, including carbamazepine, phenytoin, phenobarbital, valproate, and benzodiazepines, established the foundation of epilepsy treatment. These agents demonstrated that modulation of neuronal excitability could significantly reduce seizure occurrence. However, their use is frequently limited by pharmacokinetic complexity, drug interactions, organ toxicity, cognitive effects, and variable therapeutic responses.

The development of newer antiseizure medications, including levetiracetam, lamotrigine, topiramate, oxcarbazepine, lacosamide, brivaracetam, and others, has expanded therapeutic options and improved tolerability profiles. Many newer agents offer advantages such as fewer drug interactions, predictable pharmacokinetics, and improved safety. Nevertheless, the overall proportion of patients achieving complete seizure freedom has not dramatically increased, highlighting the need for therapies targeting deeper disease mechanisms.

A major limitation of current pharmacological management is the absence of reliable biomarkers predicting medication response. Clinicians typically select therapies based on seizure classification, epilepsy syndrome, patient age, comorbidities, and potential adverse effects. However, two patients with apparently similar epilepsy presentations may respond very

differently to the same medication. This variability reflects differences in genetics, molecular pathways, immune status, brain network organization, and metabolic characteristics.

The concept of precision pharmacotherapy has emerged as a potential solution to these limitations. By integrating genetic information, pharmacokinetic data, molecular biomarkers, and clinical characteristics, precision approaches aim to identify the most effective and safest treatment for each individual. Pharmacogenomics has already demonstrated clinical relevance in predicting specific medication-related hypersensitivity reactions and may expand toward predicting therapeutic efficacy and long-term tolerability.

Drug-resistant epilepsy represents one of the most significant unresolved problems in neurological medicine. Despite the availability of numerous antiseizure medications, approximately one-third of patients continue to experience uncontrolled seizures. Persistent seizures are associated with increased mortality, cognitive impairment, psychological disorders, reduced quality of life, and social limitations.

The mechanisms underlying pharmacoresistance are complex and multifactorial. The transporter hypothesis proposes that increased expression of drug efflux transporters at the blood–brain barrier reduces medication concentrations within epileptic tissue. Alterations in drug targets represent another mechanism, as chronic epilepsy may modify ion channels, receptors, and molecular pathways targeted by antiseizure medications.

Network alterations also contribute to treatment resistance. Long-standing epilepsy can produce structural and functional changes that maintain abnormal synchronization despite pharmacological intervention. Loss of inhibitory neurons, excessive excitatory connectivity, gliosis, inflammation, and synaptic reorganization may create highly stable epileptic networks that are difficult to suppress.

Genetic factors further influence treatment response. Variations affecting drug metabolism enzymes, transport proteins, receptor sensitivity, and molecular targets may determine whether a medication achieves therapeutic effectiveness. These findings support the integration of pharmacogenetic information into future epilepsy treatment algorithms.

Inflammatory mechanisms have recently gained attention as contributors to pharmacoresistance. Chronic neuroinflammation can alter receptor expression, modify neuronal excitability, and disrupt the effectiveness of antiseizure drugs. Therefore, combined approaches targeting both neuronal excitability and inflammatory pathways may represent a future therapeutic direction.

Although antiseizure medications provide essential benefits, long-term therapy may produce significant complications affecting neurological, psychiatric, metabolic, endocrine, and systemic health. Because epilepsy often requires lifelong treatment, understanding and minimizing medication-related risks represent essential components of comprehensive patient care.

Cognitive adverse effects are among the most clinically important complications. Some antiseizure medications may impair attention, memory, processing speed, and executive function. These effects are particularly significant in children, elderly patients, and individuals with pre-existing cognitive vulnerabilities. Medication selection should therefore consider not only seizure control but also preservation of cognitive function.

Psychiatric complications represent another important concern. Depression, anxiety, irritability, behavioral changes, and suicidal ideation may occur in association with epilepsy itself or as adverse effects of specific medications. Levetiracetam, for example, has been associated with behavioral and mood-related effects in susceptible individuals. Careful monitoring and individualized treatment selection are necessary to minimize these risks.

Metabolic complications are particularly relevant for certain antiseizure medications. Long-term use of enzyme-inducing drugs may influence vitamin metabolism, bone health, and hormonal regulation. Valproate has been associated with weight gain, metabolic disturbances, reproductive concerns, and teratogenic risk. These complications require careful counseling and monitoring, particularly among women of reproductive age.

Drug interactions represent an additional challenge because many patients with epilepsy receive multiple medications for neurological and systemic conditions. Enzyme-inducing antiseizure medications may alter the metabolism of other drugs, including hormonal contraceptives, anticoagulants, cardiovascular medications, and psychiatric treatments. Comprehensive medication review is therefore essential.

Severe immune-mediated reactions, although uncommon, represent serious complications of some antiseizure medications. Genetic screening has improved the ability to identify individuals at increased risk for certain hypersensitivity reactions. Expansion of pharmacogenomic approaches may further reduce medication-related morbidity.

Recognition of immune mechanisms in epilepsy has introduced new therapeutic possibilities beyond conventional antiseizure medications. Autoimmune epilepsy provides a clear example in which immune-directed therapy can substantially alter disease progression when initiated early.

Current immunotherapeutic approaches include corticosteroids, intravenous immunoglobulin, plasma exchange, and targeted immunosuppressive therapies. These treatments aim to reduce pathogenic immune activity, decrease inflammation, and restore normal neuronal function. Clinical outcomes demonstrate that some forms of epilepsy previously considered difficult to treat may be highly responsive to immune intervention.

However, several challenges remain. Accurate identification of immune-mediated epilepsy remains difficult because antibody testing does not detect all cases. Some patients demonstrate inflammatory mechanisms without currently recognized immune markers. Development of more sensitive biomarkers is therefore essential.

Future immunotherapy research should focus on selective modulation of inflammatory pathways rather than broad immunosuppression. Targeting specific cytokines, immune cell populations, complement pathways, or molecular mediators may improve therapeutic efficacy while reducing systemic adverse effects.

The future of epilepsy management is increasingly centered on precision medicine, an approach that recognizes epilepsy as a collection of biologically distinct disorders requiring individualized solutions. Advances in genomics, molecular biology, immunology, imaging, and computational sciences have created opportunities to classify patients according to underlying mechanisms.

Genetic diagnosis has already changed clinical practice in several epilepsy syndromes. Identification of pathogenic variants can influence medication selection, predict prognosis, guide family counseling, and reveal potential molecular targets. In the future, genetic information may become routinely integrated with clinical and electrophysiological data to create individualized treatment plans.

Precision medicine also includes the use of biomarkers to predict disease progression and therapeutic response. Biomarkers reflecting inflammation, neuronal injury, metabolic dysfunction, network activity, or genetic alterations may allow clinicians to identify the most appropriate intervention for each patient.

The integration of multi-omics approaches represents an important future direction. Combining genomic, transcriptomic, proteomic, metabolomic, and imaging data may reveal complex

biological signatures associated with specific epilepsy subtypes. Such approaches could accelerate discovery of new therapeutic targets and improve clinical decision-making.

Artificial intelligence has emerged as a transformative technology with potential applications throughout the epilepsy care pathway. The complexity of epilepsy generates large volumes of clinical, electrophysiological, imaging, and molecular data that exceed traditional analytical capabilities. Artificial intelligence provides tools capable of identifying patterns, predicting outcomes, and supporting clinical decisions.

Machine learning algorithms have demonstrated potential in automated electroencephalographic interpretation, seizure detection, seizure prediction, and classification of epilepsy syndromes. These technologies may improve diagnostic accuracy and reduce dependence on prolonged specialist interpretation.

Artificial intelligence-based prediction models may also assist in selecting appropriate treatments by integrating patient-specific characteristics with large clinical datasets. Such systems could help identify individuals likely to respond to specific medications, immunotherapy, surgery, or neuromodulation.

Wearable devices and digital monitoring technologies represent another important advancement. Continuous monitoring of physiological signals may improve seizure detection, provide objective treatment outcomes, and enhance patient engagement. However, ethical considerations regarding data privacy, algorithm transparency, and equitable access must be addressed.

Despite substantial scientific progress, epilepsy remains associated with significant global health challenges. The burden of epilepsy is unevenly distributed, with individuals living in low- and middle-income countries experiencing disproportionately high rates of untreated disease, delayed diagnosis, medication shortages, and limited access to specialized care. These disparities demonstrate that advances in biomedical research must be accompanied by improvements in healthcare infrastructure, education, and accessibility.

A major global challenge is the persistent treatment gap. Although effective antiseizure medications are available, many individuals with epilepsy worldwide do not receive appropriate therapy due to limited healthcare resources, inadequate neurological services, financial barriers, cultural misconceptions, and social stigma. The consequences of untreated epilepsy include preventable injuries, increased mortality, cognitive decline, and reduced socioeconomic participation.

Stigma remains one of the most persistent social challenges associated with epilepsy. Misunderstanding of seizure disorders can lead to discrimination in education, employment, relationships, and community participation. Although epilepsy is a neurological disease with well-established biological mechanisms, misconceptions continue to influence patient experiences and delay healthcare seeking. Public education initiatives and community-based interventions are therefore essential components of comprehensive epilepsy management.

Diagnostic inequality represents another important challenge. Advanced diagnostic tools, including high-resolution magnetic resonance imaging, prolonged video-electroencephalographic monitoring, molecular genetic testing, and specialized immunological investigations, remain unavailable in many regions. As a result, patients may experience years of uncertainty before receiving accurate diagnosis and appropriate treatment.

The complexity of epilepsy diagnosis is further increased by the heterogeneity of seizure manifestations. Clinical symptoms vary widely depending on the affected brain regions, underlying pathology, age of onset, and biological mechanisms. Differentiating epileptic seizures from non-epileptic events requires specialized expertise and integration of multiple

diagnostic approaches. Improving access to diagnostic technologies and specialist training remains a critical international priority.

The future advancement of epilepsy care depends on successful translation of discoveries from basic neuroscience into effective clinical interventions. Although research has identified numerous molecular and cellular mechanisms involved in epilepsy, translating these findings into disease-modifying therapies remains challenging.

One major limitation is the difficulty of identifying therapeutic windows during epileptogenesis. In many acquired epilepsies, there is a period between an initiating brain insult and the appearance of spontaneous seizures. This interval provides a potential opportunity for preventive intervention. However, reliable biomarkers capable of identifying individuals who will progress to epilepsy remain insufficiently developed.

Future translational research should focus on understanding the earliest molecular changes following epileptogenic events. Studies investigating inflammatory activation, synaptic remodeling, metabolic alterations, vascular dysfunction, and genetic responses may reveal targets for preventing disease development.

Animal models have contributed substantially to understanding epilepsy mechanisms and testing potential treatments. However, limitations remain because experimental models often fail to fully reproduce the complexity and heterogeneity of human epilepsy. Improved models incorporating genetic diversity, immune mechanisms, human-derived cellular systems, and advanced computational approaches are needed.

Human induced pluripotent stem cell models and organoid technologies represent promising approaches for investigating epilepsy mechanisms in patient-specific biological systems. These models allow researchers to study genetic abnormalities, neuronal development, drug responses, and therapeutic strategies in a human cellular environment.

Advances in molecular medicine have created new possibilities for treating epilepsy at the level of disease mechanisms. Gene therapy represents one of the most promising approaches, particularly for genetic epilepsies caused by specific molecular abnormalities.

Potential strategies include replacing defective genes, reducing harmful gene expression, modifying ion channel function, or regulating neuronal excitability through targeted molecular interventions. Viral vector technologies, RNA-based therapies, and genome-editing approaches are currently being investigated as potential therapeutic platforms.

Despite significant promise, several challenges must be addressed before gene-based therapies become widely available. These include achieving targeted delivery to affected brain regions, controlling treatment effects, preventing immune reactions, ensuring long-term safety, and making therapies accessible and affordable.

Epigenetic therapies represent another emerging area of investigation. Because epigenetic mechanisms regulate gene expression without changing DNA sequences, they provide potential opportunities for modifying pathological processes while preserving genetic information. However, the complexity of epigenetic regulation requires careful investigation to avoid unintended effects.

For individuals with drug-resistant epilepsy who are not suitable candidates for surgery, neuromodulation provides important therapeutic alternatives. Techniques such as vagus nerve stimulation, responsive neurostimulation, and deep brain stimulation have demonstrated clinical benefits by altering abnormal neural activity patterns.

Neuromodulation reflects a shift from traditional approaches focused solely on medication toward direct regulation of pathological brain networks. Future improvements may involve closed-loop systems capable of detecting abnormal activity and delivering precisely timed interventions.

Advanced computational neuroscience may further enhance neuromodulation by identifying optimal stimulation targets and parameters based on individual brain network characteristics. Personalized neuromodulation represents a promising area where precision medicine and engineering approaches converge.

Dietary and metabolic therapies also remain important components of epilepsy treatment. The ketogenic diet and related metabolic interventions demonstrate that modifying cellular energy pathways can influence neuronal excitability. Understanding the molecular basis of these effects may lead to the development of novel metabolic therapies with improved tolerability.

Modern epilepsy management requires a comprehensive approach involving multiple medical disciplines. Neurologists, epileptologists, neurosurgeons, geneticists, immunologists, radiologists, psychologists, psychiatrists, rehabilitation specialists, and primary healthcare providers must collaborate to address the diverse needs of individuals with epilepsy.

Multidisciplinary epilepsy centers provide integrated evaluation and management, particularly for patients with complex disease, drug resistance, developmental epilepsies, or uncertain diagnosis. These specialized approaches improve access to advanced investigations, surgical assessment, psychological support, and individualized treatment planning.

Patient-centered care has become increasingly recognized as an essential component of epilepsy management. Successful treatment requires consideration of patient preferences, lifestyle, occupation, reproductive goals, cognitive function, and psychological well-being. Shared decision-making strengthens therapeutic relationships and improves adherence to treatment strategies.

Quality-of-life outcomes should be considered alongside seizure reduction when evaluating therapeutic success. A medication that reduces seizures but produces unacceptable cognitive or psychiatric complications may not represent optimal treatment. Future clinical research should therefore incorporate comprehensive outcome measures reflecting the full impact of epilepsy on patient lives.

Future epilepsy research should focus on several interconnected priorities. First, improved understanding of epileptogenesis is required to develop preventive and disease-modifying therapies. Second, reliable biomarkers must be identified to enable early diagnosis, patient stratification, and treatment monitoring. Third, precision therapeutic approaches should be expanded through integration of molecular and clinical information.

Large-scale international collaborations will be essential for achieving these objectives. Epilepsy is biologically diverse, and meaningful discoveries require analysis of sufficiently large and representative populations. Integration of clinical databases, genomic resources, imaging repositories, and biological samples will accelerate scientific progress.

Artificial intelligence and computational approaches will likely play an increasingly important role by enabling analysis of complex datasets and identifying patterns beyond human analytical capacity. However, technological advancement must remain connected to clinical validation, ethical standards, and patient benefit.

Future research must also prioritize accessibility. Scientific discoveries have limited impact if they cannot reach patients worldwide. Strategies for affordable diagnostics, scalable treatments, healthcare education, and international collaboration are essential for reducing global epilepsy disparities.

The continuing complexity of epilepsy pathogenesis, combined with limitations of current therapeutic strategies, provides a strong rationale for comprehensive investigation of immunological mechanisms, molecular pathways, pharmacological approaches, and emerging precision therapies. Understanding epilepsy requires integration of multiple biological perspectives rather than isolated examination of individual mechanisms.

The interaction between immune dysfunction, genetic susceptibility, neuronal network alterations, metabolic disturbances, and pharmacological factors represents a central theme of contemporary epilepsy research. Exploring these relationships may reveal new diagnostic markers, therapeutic targets, and strategies for preventing disease progression.

The evaluation of pharmacological management and drug-related complications remains essential because antiseizure medications continue to represent the primary treatment modality for most patients. Improving medication effectiveness while reducing adverse outcomes requires deeper understanding of individual biological differences and mechanisms of treatment response.

The development of precision medicine approaches offers a pathway toward overcoming many current limitations. By combining molecular diagnostics, immunological profiling, genetic analysis, advanced imaging, artificial intelligence, and individualized therapeutic strategies, future epilepsy care may become more effective, safer, and more patient-centered.

The objective of modern epilepsy research is to transform epilepsy management from a predominantly symptomatic model into a comprehensive disease-modifying approach. Achieving this goal requires continued scientific innovation, multidisciplinary collaboration, global cooperation, and commitment to translating biological discoveries into meaningful improvements in patient outcomes.

Epilepsy remains a major neurological challenge, but advances in immunology, genetics, pharmacology, neuroscience, and computational medicine provide unprecedented opportunities. The integration of these fields represents the foundation for future progress toward accurate prediction, early intervention, personalized treatment, prevention of epileptogenesis, and improved quality of life for individuals affected by epilepsy worldwide.

The synthesis of contemporary experimental and clinical evidence demonstrates that epilepsy should no longer be regarded solely as a disorder of abnormal neuronal electrical activity. Instead, the disease is increasingly recognized as a multifactorial neurological condition in which immune dysregulation and neuroinflammatory signaling actively participate in seizure initiation, propagation, and long-term epileptogenesis. The reviewed literature consistently indicates that immunological mechanisms are not merely secondary consequences of recurrent seizures but constitute fundamental biological processes capable of altering neuronal excitability, synaptic transmission, structural remodeling, and functional network organization. These findings have significantly reshaped current concepts of epileptogenesis and have introduced immunological pathways as promising therapeutic targets for both seizure suppression and disease modification.

One of the most consistent observations across experimental animal models and human neuropathological studies is the rapid activation of innate immune responses following diverse neurological insults, including traumatic brain injury, ischemic stroke, central nervous system infections, prolonged febrile seizures, autoimmune encephalitis, developmental cortical malformations, and neurodegenerative disorders. Although these initiating events differ substantially in their pathological characteristics, they converge upon remarkably similar inflammatory signaling pathways that ultimately increase neuronal excitability and facilitate epileptic network formation. This convergence suggests that neuroinflammation represents a common biological denominator linking otherwise distinct etiological factors responsible for epilepsy.

The innate immune system constitutes the first line of defense within the central nervous system and plays an indispensable role in maintaining cerebral homeostasis under physiological conditions. Microglia, astrocytes, endothelial cells, and perivascular macrophages continuously monitor the neural microenvironment, responding rapidly to tissue injury through coordinated

inflammatory activation. During epileptogenesis, however, these normally protective responses become prolonged or dysregulated, producing persistent inflammatory signaling that disrupts neuronal function. The reviewed evidence indicates that chronic activation of innate immune pathways contributes to progressive structural remodeling, enhanced glutamatergic neurotransmission, impaired inhibitory synaptic function, oxidative stress, and mitochondrial dysfunction, thereby establishing a pro-epileptogenic environment capable of sustaining recurrent spontaneous seizures.

Experimental studies have consistently demonstrated that inflammatory activation precedes the appearance of spontaneous seizures in numerous animal models of acquired epilepsy. Rodent investigations involving chemoconvulsants, traumatic brain injury, cerebral ischemia, and experimental autoimmune encephalitis reveal substantial increases in inflammatory mediators during the latent period preceding chronic epilepsy. These observations strongly support the concept that inflammation actively contributes to epileptogenesis rather than simply reflecting neuronal injury resulting from seizure activity. Furthermore, pharmacological inhibition of selected inflammatory pathways has repeatedly reduced seizure frequency, delayed epilepsy development, and attenuated neuronal damage in preclinical studies, providing compelling evidence for a causal relationship between immune activation and epileptic disease progression.

Clinical investigations have largely corroborated these experimental findings. Histopathological analyses of surgically resected epileptic tissue consistently demonstrate increased expression of inflammatory cytokines, activated microglia, reactive astrocytes, complement proteins, adhesion molecules, and leukocyte infiltration compared with non-epileptic control tissue. Similar inflammatory alterations have been identified within cerebrospinal fluid, peripheral blood, and advanced neuroimaging studies of patients experiencing both focal and generalized epilepsies. Importantly, inflammatory biomarkers frequently correlate with seizure frequency, disease severity, pharmacoresistance, and cognitive impairment, suggesting that immune activation contributes not only to seizure generation but also to broader neurological dysfunction.

The dynamic interaction between the immune system and neuronal networks illustrates the bidirectional nature of epileptogenesis. Seizures themselves stimulate inflammatory activation through excessive glutamate release, neuronal depolarization, intracellular calcium accumulation, oxidative stress, and cellular injury. Activated immune cells subsequently release inflammatory mediators that further enhance neuronal excitability, thereby creating a self-perpetuating cycle in which inflammation promotes seizures while seizures reinforce inflammation. This positive feedback mechanism provides a plausible biological explanation for the progressive nature of many epileptic disorders and highlights the importance of early therapeutic intervention before irreversible network remodeling becomes established.

Recent advances in molecular neuroscience have further clarified the intracellular signaling pathways responsible for immune-mediated epileptogenesis. Activation of pattern-recognition receptors, including Toll-like receptors and nucleotide-binding oligomerization domain-like receptors, initiates intracellular signaling cascades involving nuclear factor kappa B, mitogen-activated protein kinases, Janus kinase-signal transducer and activator of transcription pathways, and inflammasome complexes. These molecular networks regulate the transcription of numerous inflammatory genes responsible for cytokine production, oxidative stress, apoptosis, and synaptic remodeling. Persistent activation of these signaling pathways has been consistently demonstrated in both experimental epilepsy models and human epileptic tissue, supporting their role as central regulators of chronic neuroinflammation.

An equally important finding emerging from contemporary research is the recognition that immune activation influences virtually every stage of epileptogenesis. During the initial injury

phase, inflammatory mediators facilitate debris clearance and tissue repair. As inflammation becomes persistent, however, these same pathways promote neuronal degeneration, gliosis, axonal sprouting, synaptic reorganization, and network hyperexcitability. In chronic epilepsy, sustained inflammatory signaling contributes to recurrent seizure generation, progressive cognitive decline, psychiatric comorbidity, and reduced responsiveness to pharmacological therapy. These observations demonstrate that immune responses exert temporally dynamic effects throughout disease progression and suggest that therapeutic timing may substantially influence clinical outcomes.

The complexity of neuroimmune communication is further illustrated by the extensive cross-talk between central and peripheral immune systems. Neurological injury disrupts the physiological separation between the brain and systemic circulation, permitting bidirectional communication through cytokines, chemokines, extracellular vesicles, immune cells, and endocrine mediators. Peripheral inflammatory diseases, systemic infections, autoimmune disorders, obesity, and chronic metabolic conditions may therefore amplify cerebral inflammation and lower seizure threshold through mechanisms extending beyond the central nervous system. This broader systems perspective emphasizes that epilepsy cannot be understood exclusively within the context of isolated neuronal dysfunction but instead represents a disorder involving integrated interactions among neurological, immunological, vascular, metabolic, and endocrine systems.

Among the various immunological mechanisms implicated in epilepsy, cytokine-mediated neuroinflammation has emerged as one of the most extensively investigated and clinically relevant areas of research. Cytokines are small signaling proteins that regulate communication between immune cells and influence numerous physiological processes, including cellular differentiation, tissue repair, inflammation, and neuronal survival. Under normal conditions, cytokine production within the brain remains tightly regulated and contributes to physiological synaptic plasticity, neurodevelopment, and immune surveillance. During epileptogenesis, however, excessive production of pro-inflammatory cytokines profoundly alters neuronal physiology through multiple complementary mechanisms that collectively increase seizure susceptibility.

Interleukin-1 beta has consistently demonstrated one of the strongest associations with epilepsy across both experimental and clinical investigations. Elevated concentrations of this cytokine have been identified within epileptic brain tissue, cerebrospinal fluid, and peripheral circulation following seizures and various neurological injuries. Mechanistically, interleukin-1 beta enhances neuronal excitability by increasing N-methyl-D-aspartate receptor activity, facilitating calcium influx, promoting glutamate release, reducing gamma-aminobutyric acid-mediated inhibition, and activating downstream inflammatory signaling pathways. Persistent overexpression of interleukin-1 beta further contributes to neuronal apoptosis, oxidative stress, blood–brain barrier dysfunction, and synaptic remodeling, thereby reinforcing epileptogenic network formation. Experimental inhibition of interleukin-1 signaling has repeatedly reduced seizure susceptibility in animal models, supporting ongoing investigation of cytokine-targeted therapies in clinical epilepsy.

Tumor necrosis factor alpha similarly occupies a central position within inflammatory networks associated with epileptogenesis. This pleiotropic cytokine influences neuronal function through modulation of excitatory and inhibitory neurotransmitter receptor trafficking, regulation of synaptic strength, activation of inflammatory transcription factors, and promotion of oxidative stress. Increased expression of tumor necrosis factor alpha has been consistently observed following prolonged seizures, traumatic brain injury, and autoimmune neurological disorders. Although transient production may contribute to tissue repair, chronic elevation promotes

excessive glutamatergic neurotransmission, suppression of inhibitory signaling, neuronal injury, and gliosis. These biological effects collectively enhance cortical hyperexcitability and facilitate chronic seizure generation.

Interleukin-6 represents another multifunctional cytokine increasingly recognized as an important mediator of epilepsy. Elevated circulating and cerebrospinal fluid concentrations of interleukin-6 have been associated with febrile seizures, status epilepticus, temporal lobe epilepsy, autoimmune epilepsy, and pharmacoresistant seizure disorders. Beyond its direct effects on neuronal excitability, interleukin-6 influences astrocyte activation, microglial proliferation, blood–brain barrier permeability, and systemic immune responses, illustrating the extensive integration of inflammatory signaling throughout the central nervous system. Nevertheless, current evidence suggests that the biological actions of interleukin-6 may vary according to disease stage, tissue localization, and interactions with other inflammatory mediators, emphasizing the complexity of cytokine biology within epileptogenesis.

Recent investigations have expanded attention toward additional inflammatory mediators, including high mobility group box one protein, transforming growth factor beta, interferon gamma, chemokines, complement components, prostaglandins, and damage-associated molecular patterns released from injured neurons. These mediators collectively activate multiple intracellular signaling pathways that regulate inflammatory amplification, oxidative stress, synaptic remodeling, mitochondrial dysfunction, and programmed cell death. Rather than functioning independently, cytokines interact through highly coordinated signaling networks characterized by extensive redundancy and reciprocal regulation. Consequently, targeting individual cytokines may prove insufficient for achieving sustained disease modification, whereas broader modulation of inflammatory signaling networks may offer greater therapeutic benefit.

The reviewed evidence therefore strongly supports the conclusion that cytokine-mediated neuroinflammation represents a fundamental biological mechanism linking diverse etiological factors to epileptogenesis. Understanding the temporal dynamics, molecular interactions, and cellular specificity of these inflammatory pathways will remain essential for the development of targeted immunotherapies capable of modifying disease progression while preserving the physiological immune functions necessary for normal central nervous system homeostasis.

One of the most significant developments in contemporary epilepsy research is the recognition that glial cells are active participants in epileptogenesis rather than passive structural elements of the central nervous system. Historically, epilepsy research focused predominantly on neuronal dysfunction because seizures originate from abnormal electrical activity within neuronal circuits. However, advances in molecular neuroscience, cellular biology, and neuroimmunology have fundamentally changed this perspective by demonstrating that microglia and astrocytes regulate numerous physiological processes essential for maintaining neuronal homeostasis. These glial populations influence synaptic transmission, neurotransmitter recycling, extracellular ion balance, metabolic support, blood–brain barrier integrity, immune surveillance, and tissue repair. Consequently, disturbances in glial physiology contribute directly to the initiation, maintenance, and progression of epilepsy.

The evidence reviewed consistently demonstrates that microglial activation represents one of the earliest pathological responses following neurological injury. Under physiological conditions, microglia exist in a highly dynamic surveillance state characterized by continuous monitoring of the extracellular environment through motile cellular processes. This constant surveillance enables rapid recognition of pathogens, damaged neurons, extracellular protein aggregates, and alterations in neuronal activity. Following traumatic injury, ischemia, infection,

prolonged seizures, autoimmune inflammation, or neurodegeneration, microglia undergo profound phenotypic transformation characterized by cellular proliferation, morphological remodeling, migration toward injured tissue, and activation of multiple intracellular inflammatory pathways.

Activated microglia release numerous biologically active molecules, including interleukin-1 beta, tumor necrosis factor alpha, interleukin-6, chemokines, prostaglandins, nitric oxide, reactive oxygen species, complement proteins, and matrix metalloproteinases. While transient production of these mediators contributes to tissue repair and removal of damaged cellular components, prolonged activation establishes a chronically inflammatory microenvironment that disrupts normal neuronal communication. Persistent exposure to inflammatory mediators alters neuronal membrane excitability, enhances excitatory neurotransmission, suppresses inhibitory signaling, and promotes structural remodeling of neural circuits. These biological effects collectively facilitate the transition from acute brain injury to chronic epilepsy.

An important aspect of microglial biology is the remarkable plasticity of these immune cells. Rather than existing as a single homogeneous population, microglia display considerable functional diversity depending upon local environmental conditions, disease stage, and molecular signaling pathways. Contemporary transcriptomic studies have identified numerous microglial activation states that differ substantially in inflammatory activity, metabolic function, phagocytic capacity, and interactions with surrounding neurons and astrocytes. This complexity explains why microglial activation may exert both neuroprotective and neurotoxic effects during epileptogenesis. Early activation frequently promotes tissue repair and restoration of homeostasis, whereas prolonged inflammatory activation contributes to neuronal injury and chronic seizure susceptibility. These observations highlight the importance of therapeutic approaches capable of selectively modulating pathological immune responses while preserving physiological neuroprotective functions.

Microglia also participate directly in synaptic remodeling through highly regulated mechanisms collectively referred to as synaptic pruning. During normal brain development, selective elimination of redundant synaptic connections contributes to maturation of functional neuronal networks. Experimental evidence indicates that pathological activation of these physiological mechanisms may occur during epileptogenesis, leading to inappropriate elimination of inhibitory synapses while preserving or enhancing excitatory neuronal connections. Such selective remodeling shifts the balance of neuronal communication toward excessive excitation, thereby increasing seizure susceptibility. The involvement of complement proteins in microglia-mediated synaptic elimination has attracted considerable attention because inhibition of complement signaling has demonstrated neuroprotective and antiepileptogenic effects in several experimental models.

Astrocytes represent another essential component of the neuroglial network involved in epilepsy. Once regarded primarily as structural support cells, astrocytes are now recognized as multifunctional regulators of neuronal physiology. They contribute to neurotransmitter recycling, regulation of extracellular potassium concentrations, glucose metabolism, lactate production, antioxidant defense, cerebral blood flow, synapse formation, and maintenance of blood–brain barrier integrity. Through these diverse physiological functions, astrocytes continuously regulate neuronal excitability and maintain the stable extracellular environment necessary for normal electrical activity.

Reactive astrogliosis is a characteristic pathological feature observed in virtually all major forms of epilepsy. Following neurological injury, astrocytes undergo marked morphological and functional transformation characterized by cellular hypertrophy, proliferation, altered gene expression, and increased production of inflammatory mediators. Although reactive astrogliosis

initially limits tissue damage and promotes repair, chronic astrocytic activation produces profound disturbances in neuronal homeostasis that facilitate epileptogenesis.

Among the most important astrocytic functions affected during epilepsy is glutamate homeostasis. Astrocytes normally remove extracellular glutamate through high-affinity excitatory amino acid transporters, thereby preventing excitotoxic neuronal injury. Numerous experimental and clinical studies demonstrate reduced expression and impaired function of these transporters within epileptic brain tissue. The resulting accumulation of extracellular glutamate enhances activation of ionotropic glutamate receptors, increases intracellular calcium influx, and promotes repetitive neuronal depolarization. Persistent glutamate-mediated excitotoxicity contributes to neuronal degeneration, synaptic remodeling, and progressive seizure susceptibility.

Disturbances in extracellular potassium regulation constitute another major mechanism through which astrocytes influence epileptogenesis. During neuronal activity, potassium ions accumulate within the extracellular space and must be rapidly cleared to prevent excessive membrane depolarization. Astrocytes accomplish this task through specialized inwardly rectifying potassium channels and extensive gap junction networks that distribute potassium throughout surrounding tissue. Experimental evidence demonstrates reduced expression and impaired function of astrocytic potassium channels in several epilepsy models. Consequently, extracellular potassium accumulation lowers seizure threshold and facilitates hypersynchronous neuronal firing.

Astrocytes further regulate neuronal metabolism through the astrocyte-neuron lactate shuttle, whereby glucose is metabolized to lactate and subsequently supplied to neurons as an alternative energy substrate. Disruption of this metabolic coupling during epilepsy contributes to mitochondrial dysfunction, oxidative stress, impaired adenosine triphosphate production, and neuronal instability. Simultaneously, reactive astrocytes produce inflammatory cytokines, chemokines, nitric oxide, prostaglandins, and extracellular matrix proteins that amplify local inflammatory responses and reinforce communication with activated microglia. These reciprocal interactions establish a persistent inflammatory network capable of maintaining chronic neuronal hyperexcitability.

Gap junction communication between astrocytes has also received increasing attention in epilepsy research. Astrocytes are interconnected through extensive gap junction channels composed primarily of connexin proteins that permit direct intercellular transfer of ions, metabolites, and signaling molecules. Under physiological conditions, this network facilitates maintenance of extracellular homeostasis and coordinated metabolic support. During epilepsy, however, alterations in connexin expression and gap junction permeability modify synchronization of glial activity and may indirectly influence neuronal synchronization. Although the precise contribution of astrocytic gap junctions remains incompletely understood, experimental modulation of connexin function has demonstrated measurable effects on seizure susceptibility, indicating another potential therapeutic target.

The integrated activity of microglia and astrocytes illustrates the remarkable complexity of neuron-glia communication during epileptogenesis. Rather than functioning independently, these cellular populations establish highly coordinated inflammatory networks characterized by reciprocal activation, cytokine signaling, metabolic interactions, and regulation of extracellular homeostasis. Persistent disruption of these physiological relationships contributes to progressive structural remodeling of epileptic networks through mechanisms involving gliosis, synaptic reorganization, axonal sprouting, extracellular matrix remodeling, and chronic inflammatory activation. Consequently, therapeutic strategies targeting glial dysfunction have

emerged as promising approaches for disease modification rather than symptomatic seizure suppression alone.

The blood–brain barrier represents one of the most sophisticated physiological interfaces within the human body and plays a fundamental role in preserving the highly specialized microenvironment required for normal neuronal function. This barrier consists of endothelial cells connected by complex tight junctions, surrounded by pericytes, astrocytic end-feet, basement membrane components, microglia, neurons, and extracellular matrix proteins that collectively form the neurovascular unit. Through highly regulated transport mechanisms, the blood–brain barrier controls the movement of nutrients, metabolites, hormones, immune cells, and circulating molecules between the systemic circulation and the central nervous system. Maintenance of barrier integrity is therefore essential for preserving neuronal homeostasis and preventing inappropriate inflammatory activation.

The literature reviewed consistently demonstrates that blood–brain barrier dysfunction is a prominent feature of both experimental and human epilepsy. Numerous neurological insults capable of initiating epileptogenesis, including traumatic brain injury, ischemic stroke, central nervous system infections, autoimmune disorders, prolonged seizures, and neurodegenerative diseases, disrupt endothelial integrity and increase vascular permeability. Advanced neuroimaging techniques, histopathological investigations, and molecular analyses have repeatedly identified evidence of blood–brain barrier breakdown in patients with focal epilepsy, temporal lobe epilepsy, autoimmune epilepsy, and drug-resistant seizure disorders.

One of the earliest consequences of barrier disruption is the extravasation of serum proteins into the brain parenchyma. Albumin, the most abundant circulating plasma protein, has received particular attention because of its potent biological effects following entry into neural tissue. Experimental investigations demonstrate that albumin binds transforming growth factor-beta receptors expressed on astrocytes, activating intracellular signaling pathways that alter potassium buffering, glutamate uptake, inflammatory cytokine production, and extracellular matrix remodeling. These astrocytic alterations contribute directly to neuronal hyperexcitability and establish conditions favorable for chronic epileptogenesis.

Barrier disruption also permits infiltration of peripheral immune cells into the central nervous system. Under physiological conditions, immune cell trafficking across the blood–brain barrier remains tightly regulated to minimize unnecessary inflammatory activation. During epilepsy, however, increased expression of endothelial adhesion molecules, chemokines, and inflammatory cytokines facilitates migration of monocytes, macrophages, neutrophils, and lymphocytes into epileptogenic tissue. These infiltrating cells release additional inflammatory mediators, proteolytic enzymes, reactive oxygen species, and growth factors that amplify local inflammation and promote structural remodeling of neuronal networks.

Matrix metalloproteinases play a particularly important role in blood–brain barrier disruption during epileptogenesis. These zinc-dependent proteolytic enzymes degrade extracellular matrix proteins and tight junction components, thereby increasing vascular permeability. Elevated expression of several matrix metalloproteinases has been consistently observed following seizures, traumatic brain injury, and inflammatory neurological disorders. Beyond facilitating barrier breakdown, these enzymes contribute to synaptic remodeling, axonal sprouting, gliosis, and inflammatory cell migration, further reinforcing epileptogenic processes. Experimental inhibition of matrix metalloproteinase activity has demonstrated protective effects against barrier disruption and seizure development in several preclinical models.

Oxidative stress further contributes to neurovascular dysfunction through direct injury to endothelial cells, astrocytic end-feet, and pericytes. Excessive production of reactive oxygen and nitrogen species damages cellular membranes, disrupts tight junction proteins, impairs

mitochondrial function, and activates inflammatory transcription factors within the neurovascular unit. Simultaneously, inflammatory cytokines released by activated microglia and astrocytes increase endothelial permeability through modulation of cytoskeletal organization and intercellular junction integrity. These reciprocal interactions establish a vicious cycle in which vascular dysfunction amplifies neuroinflammation while inflammation further compromises vascular integrity.

An important observation emerging from recent studies is that blood–brain barrier dysfunction frequently precedes chronic seizure development rather than occurring exclusively as a consequence of recurrent seizures. Experimental models demonstrate measurable increases in vascular permeability during the latent phase of epileptogenesis before spontaneous seizures become clinically evident. These findings strongly suggest that barrier disruption actively contributes to disease initiation and progression instead of representing a passive consequence of epileptic activity. This temporal relationship identifies the neurovascular unit as an attractive therapeutic target for interventions designed to prevent epilepsy following neurological injury.

The concept of the neurovascular unit has therefore expanded the traditional understanding of epilepsy beyond isolated neuronal dysfunction by emphasizing the integrated interactions among vascular cells, glial populations, immune mediators, and neuronal networks. Restoration of blood–brain barrier integrity, modulation of endothelial inflammation, preservation of astrocytic support functions, and prevention of peripheral immune cell infiltration collectively represent promising strategies for interrupting the molecular cascade responsible for epileptogenesis. Ongoing translational investigations aimed at protecting neurovascular function may ultimately provide novel disease-modifying therapies capable of reducing seizure development, limiting pharmacoresistance, and improving long-term neurological outcomes.

The recognition of autoimmune epilepsy has fundamentally transformed contemporary concepts of epileptogenesis by establishing that adaptive immune responses may directly initiate and sustain epileptic activity independent of traditional structural or metabolic abnormalities. Until relatively recently, recurrent seizures associated with autoimmune disorders were generally considered secondary manifestations of inflammatory encephalitis or nonspecific neurological injury. However, advances in neuroimmunology have demonstrated that immune-mediated mechanisms constitute distinct pathogenic processes capable of producing isolated or predominant epileptic syndromes. The identification of neuronal autoantibodies directed against synaptic proteins, neurotransmitter receptors, ion channels, and intracellular neuronal antigens has significantly expanded diagnostic criteria and introduced immunotherapy as an essential component of treatment for selected patient populations.

The accumulated evidence indicates that autoimmune epilepsy develops through highly coordinated interactions between humoral and cellular immune responses. B lymphocytes produce pathogenic autoantibodies targeting neuronal surface proteins, whereas T lymphocytes, macrophages, microglia, and antigen-presenting cells amplify inflammatory responses through cytokine secretion and direct cytotoxic activity. These adaptive immune mechanisms interact closely with innate inflammatory pathways, resulting in persistent neuronal dysfunction, synaptic remodeling, blood–brain barrier disruption, and chronic cortical hyperexcitability. Rather than representing isolated immunological abnormalities, autoimmune epilepsies therefore exemplify the complex integration of immune regulation with neuronal physiology.

Among the neuronal autoantibodies identified during the past two decades, antibodies directed against leucine-rich glioma-inactivated protein one have attracted considerable attention because of their strong association with faciobrachial dystonic seizures and limbic encephalitis. Patients frequently present with rapidly progressive focal seizures, cognitive decline, behavioral disturbances, memory impairment, and characteristic magnetic resonance imaging

abnormalities involving the medial temporal lobes. Importantly, seizures associated with leucine-rich glioma-inactivated protein one antibodies often demonstrate limited responsiveness to conventional antiseizure medications while responding dramatically to early immunotherapy. These observations provide compelling clinical evidence that immune-mediated neuronal dysfunction may be reversible when recognized promptly.

Contactin-associated protein-like two antibodies represent another important cause of autoimmune epilepsy. Contactin-associated protein-like two is a neuronal membrane protein involved in the organization of voltage-gated potassium channels at the juxtaparanodal regions of myelinated axons. Autoantibody-mediated disruption of this protein alters neuronal conduction, synaptic transmission, and cortical excitability, leading to seizures, peripheral nerve hyperexcitability, autonomic dysfunction, cognitive impairment, and psychiatric manifestations. Clinical improvement following corticosteroids, intravenous immunoglobulin, plasma exchange, or B-cell-depleting therapies further supports the pathogenic role of adaptive immune responses in these disorders.

N-methyl-D-aspartate receptor antibody-associated encephalitis has become one of the most extensively investigated autoimmune neurological disorders because of its characteristic clinical presentation and substantial responsiveness to immunotherapy. Although psychiatric symptoms, movement disorders, cognitive impairment, and autonomic instability frequently dominate the clinical picture, seizures constitute a major neurological manifestation in many patients. Pathogenic antibodies reduce the surface expression of N-methyl-D-aspartate receptors through receptor internalization rather than direct neuronal destruction, thereby altering excitatory neurotransmission and network stability. This reversible mechanism explains why early immunological treatment frequently results in significant neurological recovery despite severe clinical presentation.

Additional neuronal autoantibodies directed against gamma-aminobutyric acid receptors, alpha-amino-three-hydroxy-five-methyl-four-isoxazolepropionic acid receptors, glycine receptors, dipeptidyl-peptidase-like protein six, metabotropic glutamate receptors, and glutamic acid decarboxylase further illustrate the remarkable diversity of autoimmune epilepsies. Each antibody targets distinct molecular components involved in synaptic communication, resulting in unique clinical phenotypes while sharing common immunopathological mechanisms characterized by altered neurotransmission, inflammatory activation, and neuronal hyperexcitability. The expanding spectrum of autoimmune neurological diseases continues to reshape diagnostic algorithms by emphasizing the importance of comprehensive immunological evaluation in patients presenting with unexplained or rapidly progressive epilepsy.

A particularly important finding emerging from recent investigations is that autoimmune epilepsy frequently occurs in the absence of classical encephalitic manifestations. Some individuals present primarily with recurrent focal seizures, subtle cognitive dysfunction, or treatment-resistant epilepsy without fever, altered consciousness, or widespread inflammatory changes on conventional neuroimaging. Such observations underscore the importance of maintaining clinical suspicion for autoimmune mechanisms in patients exhibiting unusually rapid disease progression, unexplained pharmacoresistance, inflammatory cerebrospinal fluid findings, coexisting autoimmune disorders, or characteristic seizure semiology. Early recognition remains essential because delayed immunotherapy may permit irreversible neuronal injury and persistent neurological disability.

Histopathological investigations of autoimmune epilepsy further support the central role of adaptive immune responses. Surgical specimens frequently demonstrate lymphocytic infiltration, activated microglia, reactive astrocytes, complement deposition, neuronal antibody

binding, and inflammatory cytokine expression within epileptogenic tissue. These pathological findings indicate that humoral and cellular immune responses cooperate to disrupt neuronal homeostasis through mechanisms extending well beyond isolated antibody-mediated receptor dysfunction. Furthermore, considerable overlap exists between autoimmune and innate inflammatory pathways, suggesting that therapeutic approaches targeting both adaptive and innate immune activation may provide greater clinical benefit than strategies directed toward single molecular targets.

The therapeutic implications of autoimmune epilepsy have significantly influenced contemporary clinical practice. Conventional antiseizure medications remain important for symptomatic seizure control; however, immunomodulatory therapies frequently determine long-term neurological outcomes. Corticosteroids suppress inflammatory gene expression, reduce cytokine production, stabilize the blood–brain barrier, and inhibit lymphocyte activation. Intravenous immunoglobulin exerts multiple immunoregulatory effects through neutralization of pathogenic antibodies, modulation of complement activation, regulation of Fc receptor signaling, and suppression of inflammatory cytokine production. Plasma exchange physically removes circulating autoantibodies and inflammatory mediators from the bloodstream, whereas monoclonal antibodies such as rituximab selectively deplete B lymphocytes responsible for antibody production. These therapeutic strategies illustrate the transition from purely symptomatic seizure management toward mechanism-based treatment directed at underlying disease processes.

Despite remarkable progress, numerous questions remain regarding the pathogenesis of autoimmune epilepsy. The factors initiating loss of immune tolerance, determinants of antibody specificity, mechanisms governing blood–brain barrier penetration, interactions between peripheral and central immune responses, and predictors of therapeutic responsiveness remain incompletely understood. Continued investigation into these mechanisms is expected to facilitate earlier diagnosis, improve biomarker development, and identify novel immunological targets capable of preventing chronic epileptogenesis.

Genetic discoveries have revolutionized epilepsy research by demonstrating that alterations in the human genome influence virtually every aspect of epileptogenesis, including neuronal development, synaptic organization, ion channel function, neurotransmitter signaling, inflammatory regulation, pharmacological responsiveness, and long-term clinical outcomes. Rather than representing rare causes of childhood epilepsy alone, genetic factors are now recognized as major contributors to both inherited and acquired seizure disorders. Contemporary genomic investigations have identified hundreds of epilepsy-associated genes, revealing extraordinary molecular heterogeneity and highlighting the complex interaction between inherited susceptibility and environmental influences.

The reviewed evidence indicates that pathogenic genetic variants frequently affect proteins responsible for regulating neuronal membrane excitability. Voltage-gated sodium channels play essential roles in action potential initiation and propagation, and mutations affecting these channels produce profound alterations in neuronal firing characteristics. Depending upon the specific molecular defect, sodium channel mutations may enhance persistent inward current, impair channel inactivation, reduce inhibitory interneuron function, or alter neuronal developmental processes. These diverse mechanisms illustrate how apparently similar clinical phenotypes may arise through distinct molecular pathways requiring individualized therapeutic approaches.

Voltage-gated potassium channels similarly regulate neuronal repolarization and membrane stability. Dysfunction of these channels prolongs membrane depolarization, increases repetitive neuronal firing, and lowers seizure threshold. Calcium channels contribute additional

complexity by regulating neurotransmitter release, intracellular calcium signaling, gene transcription, and synaptic plasticity. Mutations affecting calcium channel subunits have been associated with generalized epilepsies, developmental epileptic encephalopathies, cerebellar dysfunction, and neurodevelopmental disorders, emphasizing their broad physiological importance.

Beyond ion channels, numerous epilepsy-associated genes encode proteins involved in synaptic transmission. Synaptic vesicle proteins regulate neurotransmitter packaging, trafficking, docking, and exocytosis, thereby ensuring precise neuronal communication. Mutations disrupting these processes alter the balance between excitatory and inhibitory neurotransmission, producing network instability and epileptogenesis. Similarly, pathogenic variants affecting gamma-aminobutyric acid receptors, glutamate receptors, postsynaptic scaffolding proteins, cell adhesion molecules, and intracellular signaling complexes impair synaptic organization and contribute to chronic neuronal hyperexcitability.

The mammalian target of rapamycin signaling pathway has emerged as one of the most extensively investigated molecular networks involved in epilepsy. This evolutionarily conserved signaling cascade regulates cellular growth, metabolism, protein synthesis, autophagy, neuronal migration, and synaptic plasticity. Hyperactivation of mammalian target of rapamycin signaling has been identified in tuberous sclerosis complex, focal cortical dysplasia, hemimegalencephaly, and several developmental epileptic disorders. Persistent pathway activation promotes abnormal neuronal growth, cortical malformation, gliosis, inflammatory activation, and network hyperexcitability. The clinical success of mammalian target of rapamycin inhibitors in selected genetic epilepsies provides compelling evidence that targeted molecular therapy can modify disease mechanisms rather than merely suppress seizures.

Transcriptomic investigations have revealed widespread alterations in gene expression within epileptic brain tissue extending far beyond inherited genetic mutations. Recurrent seizures, neuroinflammation, oxidative stress, and structural injury collectively influence transcriptional regulation of genes involved in neurotransmission, metabolism, apoptosis, immune activation, mitochondrial function, and synaptic remodeling. These dynamic changes illustrate that epileptogenesis represents an evolving biological process characterized by continuous molecular adaptation rather than a static pathological state.

Epigenetic regulation provides an additional layer of molecular complexity. DNA methylation, histone acetylation, chromatin remodeling, and non-coding RNA activity modify gene expression without altering the underlying nucleotide sequence. Experimental studies consistently demonstrate seizure-induced epigenetic modifications affecting genes regulating inflammatory signaling, neuronal survival, synaptic plasticity, and ion channel expression. Importantly, many epigenetic alterations remain potentially reversible, creating opportunities for therapeutic intervention through pharmacological modulation of chromatin structure and transcriptional activity.

MicroRNAs have attracted particular interest because of their extensive regulatory influence over neuronal differentiation, inflammatory activation, apoptosis, and synaptic organization. Numerous epilepsy-associated microRNAs demonstrate altered expression within epileptic brain tissue, cerebrospinal fluid, and peripheral circulation. Certain microRNAs promote inflammatory signaling and neuronal degeneration, whereas others exert neuroprotective effects through suppression of apoptosis or enhancement of inhibitory neurotransmission. Experimental manipulation of specific microRNAs has produced encouraging antiepileptogenic effects in animal models, suggesting that RNA-based therapeutics may become valuable components of future precision medicine strategies.

The integration of genomics, transcriptomics, epigenomics, proteomics, and metabolomics has substantially expanded current understanding of epilepsy as a systems-level disorder involving interconnected molecular networks rather than isolated pathogenic genes. These multidimensional approaches have revealed extensive interactions among genetic susceptibility, immune activation, mitochondrial dysfunction, oxidative stress, structural remodeling, and environmental influences. Consequently, contemporary epilepsy research increasingly emphasizes network biology and systems neuroscience to identify shared molecular pathways capable of explaining disease heterogeneity while simultaneously providing novel therapeutic opportunities.

The genetic and molecular mechanisms constitute fundamental determinants of epileptogenesis, influencing disease initiation, progression, pharmacological responsiveness, and prognosis. Continued integration of molecular diagnostics into clinical practice is expected to accelerate the development of precision therapeutics, facilitate earlier intervention, and ultimately improve long-term outcomes for individuals affected by this complex neurological disorder.

Structural abnormalities of the central nervous system constitute one of the most extensively documented causes of epilepsy and continue to represent a major focus of clinical and translational research. The evidence synthesized from neuropathological investigations, advanced neuroimaging, molecular studies, and surgical series demonstrates that disruption of normal brain architecture significantly alters neuronal connectivity and network organization, thereby facilitating the development of epileptogenic circuits. Structural epilepsies encompass a diverse spectrum of pathological conditions, including developmental cortical malformations, hippocampal sclerosis, traumatic brain injury, cerebrovascular disease, intracranial neoplasms, vascular malformations, and acquired lesions resulting from inflammatory or infectious processes. Although these disorders differ substantially in their etiology and histopathological characteristics, they converge upon common biological mechanisms involving neuronal loss, synaptic remodeling, gliosis, neuroinflammation, and abnormal network synchronization.

Developmental abnormalities of cortical formation represent particularly important causes of epilepsy during infancy, childhood, and early adulthood. Cortical development is a highly coordinated biological process requiring precise regulation of neural stem cell proliferation, neuronal migration, differentiation, axonal guidance, synaptogenesis, and programmed cell death. Disruption of any of these developmental stages may produce permanent abnormalities of cortical architecture that predispose affected individuals to recurrent seizures. Contemporary neuroimaging and molecular genetic investigations have significantly improved the recognition of these developmental disorders, revealing structural lesions that were previously undetectable using conventional diagnostic techniques.

Focal cortical dysplasia remains among the most common structural abnormalities identified in patients undergoing epilepsy surgery for medically refractory focal epilepsy. Histopathological examination demonstrates disorganized cortical lamination, dysmorphic neurons, abnormal glial proliferation, and altered expression of proteins regulating neuronal development and synaptic function. These structural abnormalities generate highly excitable neuronal networks characterized by impaired inhibitory interneuron function, aberrant synaptic connectivity, and persistent inflammatory activation. The close relationship between focal cortical dysplasia and mammalian target of rapamycin pathway dysregulation further illustrates the interaction between developmental biology and molecular signaling during epileptogenesis.

Other developmental malformations, including polymicrogyria, pachygyria, lissencephaly, schizencephaly, heterotopia, and hemimegalencephaly, similarly disrupt cortical organization through abnormalities of neuronal migration and differentiation. Although these disorders differ

in their anatomical appearance and genetic basis, they frequently share common pathophysiological features characterized by abnormal cortical circuitry, defective synaptic integration, altered neurotransmitter receptor expression, and impaired neuronal network maturation. Clinical manifestations often include developmental delay, intellectual disability, motor impairment, and pharmacoresistant epilepsy, reflecting the extensive involvement of neural systems beyond seizure generation alone.

Hippocampal sclerosis remains the most frequently identified pathological substrate in mesial temporal lobe epilepsy and represents one of the best-characterized structural mechanisms of epileptogenesis. Histologically, hippocampal sclerosis is characterized by selective neuronal loss within the hippocampal formation, extensive reactive gliosis, mossy fiber sprouting, synaptic reorganization, inflammatory activation, and extracellular matrix remodeling. These structural changes profoundly alter hippocampal circuitry, facilitating recurrent excitation and impaired inhibitory regulation. Although hippocampal sclerosis has traditionally been viewed as a consequence of prolonged seizures, increasing evidence suggests a bidirectional relationship in which pre-existing structural vulnerability promotes seizures while recurrent seizures further accelerate hippocampal degeneration. This reciprocal interaction contributes to the progressive nature of temporal lobe epilepsy and explains the frequent development of pharmacoresistance in affected individuals.

Traumatic brain injury represents another major cause of acquired structural epilepsy and provides a valuable model for investigating the biological sequence leading from acute neurological injury to chronic epileptogenesis. Mechanical trauma initiates a complex cascade involving neuronal necrosis, diffuse axonal injury, cerebral edema, hemorrhage, excitotoxicity, mitochondrial dysfunction, oxidative stress, inflammatory activation, and blood–brain barrier disruption. During the subsequent latent period, progressive synaptic remodeling, gliosis, axonal sprouting, and extracellular matrix alterations transform injured neural tissue into chronically hyperexcitable networks. Experimental studies have demonstrated that this latent phase provides a critical therapeutic window during which disease-modifying interventions may prevent or attenuate epileptogenesis before spontaneous seizures become established.

Cerebrovascular disease has emerged as the leading cause of epilepsy among older adults, reflecting global demographic aging and improved survival following acute stroke. Both ischemic and hemorrhagic cerebrovascular events produce neuronal injury through energy failure, excitotoxicity, oxidative stress, inflammatory activation, and vascular remodeling. The resulting structural changes alter cortical connectivity, disrupt inhibitory neuronal circuits, and facilitate hypersynchronous neuronal firing. Chronic cerebral hypoperfusion, white matter disease, and microvascular pathology further contribute to epileptogenesis by promoting progressive neurodegeneration and inflammatory activation. The strong association between epilepsy and cerebrovascular disease emphasizes the importance of vascular health in maintaining long-term neuronal stability.

Intracranial neoplasms also represent significant structural causes of epilepsy, particularly low-grade gliomas and glioneuronal tumors. Seizure generation in tumor-associated epilepsy results from multiple interacting mechanisms including direct cortical infiltration, compression of adjacent neuronal tissue, and disruption of neurotransmitter homeostasis, inflammatory activation, vascular abnormalities, and alterations in extracellular ionic composition. Tumor cells themselves may release excitatory neurotransmitters, growth factors, cytokines, and extracellular vesicles capable of modifying surrounding neuronal activity. These observations highlight the dynamic interactions between neoplastic tissue and the surrounding cerebral microenvironment in promoting epileptogenesis.

Collectively, structural epilepsies demonstrate that disruption of normal brain architecture initiates progressive biological processes extending well beyond the original lesion. Persistent neuroinflammation, synaptic remodeling, glial activation, mitochondrial dysfunction, and vascular alterations collectively contribute to chronic neuronal hyperexcitability, reinforcing the concept that structural abnormalities interact closely with molecular and immunological mechanisms throughout disease progression.

Metabolic homeostasis is fundamental for maintaining normal neuronal function because the brain possesses exceptionally high energy requirements while exhibiting limited capacity for energy storage. Neurons depend upon continuous production of adenosine triphosphate to sustain membrane potentials, neurotransmitter synthesis, synaptic transmission, calcium homeostasis, axonal transport, and intracellular signaling. Disturbances affecting cerebral metabolism therefore exert profound effects on neuronal excitability and may precipitate both acute symptomatic seizures and chronic epilepsy. The reviewed evidence demonstrates that metabolic dysfunction represents not only a consequence of epileptic activity but also an important pathogenic mechanism contributing to epileptogenesis.

Glucose metabolism occupies a central position in neuronal physiology because glucose serves as the primary substrate for cerebral energy production. Both hypoglycemia and severe hyperglycemia disrupt neuronal metabolism through distinct molecular mechanisms capable of lowering seizure threshold. Hypoglycemia reduces adenosine triphosphate production, impairs sodium-potassium adenosine triphosphatase activity, and promotes membrane depolarization, whereas hyperglycemia alters osmotic balance, increases oxidative stress, and disrupts neurotransmitter homeostasis. Persistent metabolic disturbances may therefore initiate structural and functional alterations extending beyond transient seizure activity.

Electrolyte homeostasis likewise plays a crucial role in regulating neuronal excitability. Sodium, potassium, calcium, magnesium, chloride, and phosphate ions collectively determine membrane potential, action potential generation, neurotransmitter release, and synaptic transmission. Hyponatremia produces cerebral edema and neuronal swelling, facilitating abnormal electrical activity, whereas hypocalcemia reduces membrane stability through increased sodium channel permeability. Magnesium deficiency enhances activation of excitatory glutamate receptors, while disturbances in potassium homeostasis alter membrane repolarization and repetitive neuronal firing. These physiological observations explain why correction of metabolic abnormalities frequently eliminates seizures without the need for chronic antiseizure pharmacotherapy.

Inherited metabolic disorders provide additional insight into the relationship between cellular metabolism and epileptogenesis. Disorders affecting amino acid metabolism, organic acid metabolism, fatty acid oxidation, lysosomal degradation, peroxisomal function, and mitochondrial energy production frequently present with recurrent seizures as prominent neurological manifestations. Accumulation of toxic metabolic intermediates, impaired neurotransmitter synthesis, oxidative stress, and neuronal degeneration collectively contribute to chronic epilepsy in these conditions. Advances in newborn screening, biochemical diagnostics, and molecular genetics have substantially improved early recognition of inherited metabolic epilepsies, enabling targeted therapeutic interventions that may prevent irreversible neurological injury.

Mitochondria occupy a particularly important position within epileptogenesis because they regulate energy production, calcium buffering, apoptosis, reactive oxygen species generation, and intracellular signaling. During normal neuronal activity, mitochondria provide the large quantities of adenosine triphosphate required for maintenance of membrane potentials and synaptic transmission. Mitochondrial dysfunction impairs oxidative phosphorylation, reduces

energy availability, disrupts calcium homeostasis, and enhances oxidative stress, thereby increasing neuronal susceptibility to repetitive depolarization and seizure generation.

Experimental evidence demonstrates that recurrent seizures further exacerbate mitochondrial dysfunction by increasing intracellular calcium concentrations, promoting free radical production, and damaging mitochondrial DNA. This reciprocal relationship establishes a self-perpetuating cycle in which mitochondrial injury enhances neuronal excitability while seizures accelerate metabolic dysfunction. The resulting bioenergetic failure contributes not only to seizure recurrence but also to progressive neuronal degeneration, cognitive decline, and pharmacoresistance observed in chronic epilepsy.

Oxidative stress represents another fundamental metabolic mechanism linking mitochondrial dysfunction with epileptogenesis. Excessive production of reactive oxygen species damages lipids, proteins, nucleic acids, and mitochondrial membranes, impairing neuronal viability and synaptic function. Simultaneously, oxidative stress activates inflammatory transcription factors and amplifies cytokine production, illustrating the close integration of metabolic dysfunction with neuroinflammatory pathways. Antioxidant therapies have therefore attracted considerable interest as potential disease-modifying interventions capable of interrupting these interconnected pathological processes.

The ketogenic diet provides compelling clinical evidence supporting the importance of metabolism in epilepsy. By shifting cerebral energy metabolism from glucose utilization toward ketone body oxidation, ketogenic therapy influences mitochondrial function, neurotransmitter synthesis, oxidative stress, inflammation, and neuronal membrane stability. Although the precise mechanisms remain incompletely understood, clinical studies consistently demonstrate significant seizure reduction in many patients with drug-resistant epilepsy, emphasizing the therapeutic potential of metabolic modulation.

Infectious diseases remain important causes of epilepsy worldwide despite substantial advances in antimicrobial therapy and preventive medicine. Central nervous system infections initiate complex inflammatory responses characterized by neuronal injury, cerebral edema, vascular dysfunction, glial activation, and disruption of the blood–brain barrier. Viral encephalitis, bacterial meningitis, cerebral malaria, neurocysticercosis, tuberculosis, fungal infections, and human immunodeficiency virus-associated neurological disease all contribute to epileptogenesis through overlapping molecular pathways involving excitotoxicity, inflammatory activation, oxidative stress and structural remodeling.

A particularly significant observation emerging from contemporary research is that persistent neuroinflammation frequently continues long after eradication of the infectious pathogen. Chronic activation of microglia, astrocytes, cytokine networks, and adaptive immune responses maintains neuronal hyperexcitability despite microbiological resolution of the original infection. These findings suggest that immunological mechanisms rather than direct microbial injury often determine long-term epileptic outcomes following central nervous system infections.

Environmental factors similarly interact with genetic susceptibility and biological vulnerability throughout life. Prenatal infections, maternal malnutrition, environmental toxins, alcohol exposure, illicit drug use, chronic psychological stress, sleep deprivation, endocrine disturbances, repeated head trauma, and occupational exposures each influence neuronal development and network stability through diverse molecular mechanisms. These environmental influences frequently modify epigenetic regulation, inflammatory signaling, oxidative stress, and neurotransmitter homeostasis, illustrating the multifactorial nature of epileptogenesis.

The interaction between environmental exposures and inherited genetic susceptibility further emphasizes that epilepsy develops through dynamic relationships among biological, developmental, immunological, and environmental factors rather than isolated pathogenic pathways. This systems-based perspective supports the growing emphasis on multidisciplinary prevention strategies integrating public health interventions, early diagnosis, precision medicine, environmental risk reduction, and personalized therapeutic approaches to improve long-term neurological outcomes.

The pharmacological management of epilepsy remains the cornerstone of treatment for the majority of individuals affected by this heterogeneous neurological disorder. Over the past several decades, remarkable advances in molecular pharmacology, medicinal chemistry, clinical neuroscience, and precision medicine have expanded the therapeutic landscape from a limited number of broad-spectrum antiseizure medications to an extensive armamentarium of pharmacological agents with diverse mechanisms of action. Despite these advances, successful long-term seizure control continues to represent a considerable clinical challenge because therapeutic response varies substantially among patients according to seizure type, epilepsy syndrome, genetic background, age, sex, comorbidities, pharmacokinetic characteristics, and the underlying biological mechanisms responsible for epileptogenesis. The evidence reviewed demonstrates that contemporary epilepsy management requires individualized therapeutic strategies integrating clinical assessment, molecular diagnostics, pharmacogenomics, and continuous monitoring to optimize efficacy while minimizing adverse effects.

The primary objective of antiseizure pharmacotherapy is the complete suppression of seizures without producing unacceptable adverse reactions or compromising cognitive, psychological, or systemic health. Achieving this balance remains difficult because neuronal excitability is regulated through numerous interconnected molecular pathways that also participate in normal physiological brain function. Consequently, pharmacological interventions designed to reduce pathological neuronal firing inevitably influence normal neuronal activity to varying degrees. This fundamental biological limitation explains why many antiseizure medications are associated with dose-dependent neurological adverse effects despite providing effective seizure control.

Current antiseizure medications exert their therapeutic effects through several principal molecular mechanisms. The most extensively utilized agents modulate voltage-gated sodium channels by prolonging channel inactivation and reducing repetitive neuronal firing. Medications within this category stabilize hyperexcitable neuronal membranes and suppress excessive action potential generation while preserving physiological neuronal communication. Sodium channel modulation remains particularly effective for many focal epilepsies and generalized tonic-clonic seizures; however, individual pharmacological agents differ substantially in receptor selectivity, pharmacokinetic properties, and adverse effect profiles. These differences underscore the importance of individualized drug selection rather than assuming equivalent therapeutic performance among medications sharing similar mechanisms. Voltage-gated calcium channels represent another important pharmacological target because calcium influx regulates neurotransmitter release, intracellular signaling, gene expression, and synaptic plasticity. Selective inhibition of specific calcium channel subtypes reduces excitatory neurotransmission and neuronal synchronization, particularly within thalamocortical circuits involved in generalized epilepsies. Additional therapeutic agents enhance potassium channel activity, thereby facilitating membrane repolarization and reducing neuronal excitability. These complementary mechanisms illustrate the increasingly sophisticated pharmacological approaches available for targeting distinct components of neuronal electrical activity.

Enhancement of gamma-aminobutyric acid-mediated inhibitory neurotransmission constitutes another major therapeutic strategy. Gamma-aminobutyric acid serves as the principal inhibitory neurotransmitter within the central nervous system and plays an indispensable role in maintaining the balance between neuronal excitation and inhibition. Pharmacological agents that enhance gamma-aminobutyric acid receptor activity, inhibit gamma-aminobutyric acid degradation, or increase synaptic gamma-aminobutyric acid concentrations effectively suppress seizure activity by strengthening inhibitory neuronal signaling. These medications have demonstrated broad clinical utility across multiple epilepsy syndromes, although sedation, cognitive impairment, and tolerance may limit long-term use in selected patients.

Conversely, inhibition of glutamatergic neurotransmission reduces excessive neuronal excitation by antagonizing ionotropic glutamate receptors or modulating presynaptic glutamate release. Since glutamate represents the primary excitatory neurotransmitter within the brain, excessive glutamatergic activity contributes significantly to seizure propagation, excitotoxic neuronal injury, and epileptogenesis. Pharmacological modulation of glutamate signaling therefore provides an important complementary approach for restoring excitatory-inhibitory balance. However, because glutamate also mediates learning, memory, and normal synaptic plasticity, therapeutic inhibition must be carefully balanced to avoid undesirable cognitive consequences.

The identification of synaptic vesicle protein two A as an antiseizure drug target represents a significant milestone in modern epilepsy pharmacology. Agents acting through this mechanism regulate neurotransmitter vesicle exocytosis and synaptic transmission without directly modifying ion channel function. Clinical investigations consistently demonstrate favorable efficacy combined with relatively good tolerability, making synaptic vesicle protein modulation an important therapeutic option for patients with focal and generalized epilepsies. The success of this pharmacological strategy highlights the value of targeting presynaptic neurotransmitter regulation rather than solely altering neuronal membrane excitability.

Increasing attention has also focused on therapies targeting inflammatory pathways implicated in epileptogenesis. Growing recognition of neuroinflammation as an active contributor to seizure generation has stimulated investigation of immunomodulatory agents, cytokine inhibitors, and anti-inflammatory therapies capable of modifying disease mechanisms beyond symptomatic seizure suppression. Although conventional antiseizure medications remain indispensable for most patients, emerging evidence suggests that selected individuals, particularly those with autoimmune or inflammatory epilepsies, may benefit substantially from therapies directed toward underlying immunopathological processes.

Successful pharmacological management extends beyond initial drug selection and requires careful consideration of pharmacokinetic principles influencing therapeutic response. Drug absorption, protein binding, tissue distribution, hepatic metabolism, renal elimination, and interactions with concomitant medications collectively determine circulating drug concentrations and clinical efficacy. Numerous antiseizure medications undergo hepatic metabolism through cytochrome P450 enzyme systems, creating significant potential for pharmacokinetic interactions with cardiovascular drugs, antimicrobial agents, psychiatric medications, hormonal contraceptives, anticoagulants, and immunosuppressive therapies. Recognition of these interactions is essential for preventing therapeutic failure and minimizing drug-related toxicity.

Age represents another critical determinant of pharmacological response. Neonates and young children exhibit immature hepatic enzyme activity, altered protein binding, increased total body water, and developmental differences in blood–brain barrier permeability that substantially influence drug disposition. Conversely, older adults frequently experience reduced renal

function, altered hepatic metabolism, polypharmacy, and increased susceptibility to cognitive adverse effects. These physiological differences necessitate individualized dosage adjustment and careful therapeutic monitoring throughout the lifespan.

Sex-specific physiological factors further influence antiseizure pharmacotherapy. Hormonal fluctuations associated with puberty, the menstrual cycle, pregnancy, and menopause modify seizure susceptibility and drug pharmacokinetics through complex interactions involving estrogen, progesterone, hepatic enzyme activity, and plasma protein binding. Pregnancy presents particularly challenging therapeutic considerations because physiological changes increase drug clearance while simultaneously exposing the developing fetus to potential teratogenic effects. Consequently, management of epilepsy during pregnancy requires careful balancing of maternal seizure control with fetal safety through individualized therapeutic planning and close multidisciplinary monitoring.

The reviewed evidence strongly supports early initiation of appropriate antiseizure therapy following diagnosis because prolonged uncontrolled seizures contribute to progressive neuronal injury, cognitive decline, psychosocial dysfunction, and reduced quality of life. Nevertheless, treatment decisions should always consider seizure type, epilepsy syndrome, recurrence risk, patient preferences, comorbid conditions, occupational requirements, and potential long-term adverse effects. Shared decision-making has therefore become an integral component of contemporary epilepsy management, recognizing that optimal therapeutic outcomes depend upon active collaboration between healthcare professionals and patients.

Despite substantial advances in antiseizure pharmacology, approximately one-third of patients continue to experience recurrent seizures despite receiving appropriately selected and adequately dosed medications. Drug-resistant epilepsy remains one of the most important unresolved challenges in clinical neurology because persistent seizures are associated with increased morbidity, premature mortality, cognitive deterioration, psychiatric comorbidity, reduced educational attainment, impaired employment, and diminished quality of life. The reviewed evidence indicates that pharmacoresistance results from complex interactions among genetic, molecular, structural, inflammatory, and pharmacokinetic mechanisms rather than a single pathological process.

One of the earliest explanations proposed for pharmacoresistance involved overexpression of multidrug transporter proteins within the blood–brain barrier. Adenosine triphosphate-binding cassette transporters actively remove numerous xenobiotics from the brain, thereby limiting drug penetration into epileptogenic tissue. Experimental studies consistently demonstrate increased expression of transporter proteins in drug-resistant epilepsy, suggesting that reduced intracerebral drug concentrations contribute to therapeutic failure. Although this hypothesis has received substantial experimental support, clinical investigations indicate that transporter overexpression alone cannot fully explain the biological complexity of pharmacoresistance.

Alterations affecting molecular drug targets provide another important mechanism. Chronic epilepsy may induce structural or functional changes in voltage-gated ion channels, neurotransmitter receptors, synaptic proteins, and intracellular signaling pathways that reduce sensitivity to antiseizure medications. Simultaneously, persistent neuroinflammation modifies receptor expression, neuronal membrane composition, and intracellular signaling, thereby altering pharmacodynamic responsiveness. These adaptive changes illustrate how progressive epileptogenesis itself may diminish therapeutic efficacy over time.

Structural remodeling of epileptic networks further contributes to pharmacoresistance. Axonal sprouting, synaptic reorganization, neuronal loss, gliosis, extracellular matrix remodeling, and abnormal connectivity collectively establish extensive epileptogenic circuits that may no longer respond adequately to conventional pharmacological modulation. This observation explains

why patients with longstanding temporal lobe epilepsy, hippocampal sclerosis, focal cortical dysplasia, or extensive traumatic brain injury frequently exhibit reduced responsiveness to medical therapy and may require epilepsy surgery or neuromodulation.

Pharmacogenomics has emerged as one of the most promising approaches for understanding individual variability in drug response. Genetic polymorphisms affecting drug-metabolizing enzymes, transporter proteins, receptor targets, inflammatory mediators, and intracellular signaling pathways significantly influence pharmacokinetics and pharmacodynamics. Variants within cytochrome P450 enzymes alter hepatic drug metabolism, producing substantial differences in circulating drug concentrations among individuals receiving identical dosages. Similarly, polymorphisms affecting transporter proteins influence blood–brain barrier permeability and tissue drug distribution.

Perhaps the most clinically important pharmacogenomic discovery has been the identification of specific human leukocyte antigen alleles associated with severe hypersensitivity reactions to certain antiseizure medications. Genetic screening prior to treatment initiation has significantly reduced the incidence of life-threatening cutaneous adverse reactions in susceptible populations, demonstrating the practical value of pharmacogenomic testing in routine clinical practice. These achievements provide compelling evidence that precision medicine can improve both therapeutic efficacy and patient safety.

Beyond pharmacogenomics, transcriptomic, proteomic, metabolomic, and epigenomic investigations continue to identify molecular biomarkers capable of predicting therapeutic response. Integration of these multidimensional biological datasets with artificial intelligence and machine learning technologies offers unprecedented opportunities to develop individualized treatment algorithms tailored to each patient's unique molecular profile. Although these approaches remain under active investigation, they represent important steps toward truly personalized epilepsy management.

The persistence of pharmacoresistance despite continued pharmaceutical innovation underscores the need for therapeutic strategies extending beyond conventional seizure suppression. Combination therapy targeting complementary molecular pathways, anti-inflammatory interventions, gene-based therapies, neuromodulation, epilepsy surgery, metabolic treatments, and regenerative medicine may ultimately provide more effective solutions for patients with treatment-resistant epilepsy. Continued translational research integrating molecular neuroscience, immunology, genetics, pharmacology, and computational biology will therefore remain essential for overcoming one of the greatest challenges in contemporary epileptology.

The successful management of epilepsy requires not only effective seizure control but also careful consideration of medication safety, tolerability, and long-term consequences. Although antiseizure medications have substantially improved outcomes for millions of individuals worldwide, their therapeutic benefits must be balanced against the possibility of adverse drug reactions affecting neurological, psychiatric, metabolic, hematological, hepatic, dermatological, reproductive, and systemic health. The evidence reviewed demonstrates that drug-related complications represent a major determinant of treatment adherence, quality of life, and overall clinical outcomes. Consequently, contemporary epilepsy care increasingly emphasizes individualized risk assessment, pharmacovigilance, therapeutic monitoring, and early recognition of adverse effects.

Adverse reactions associated with antiseizure medications arise through multiple mechanisms, including excessive pharmacological activity, off-target molecular interactions, genetic susceptibility, immune-mediated responses, drug interactions, and cumulative physiological effects of long-term exposure. The severity of these complications varies considerably, ranging

from mild transient symptoms that resolve with dosage adjustment to severe life-threatening conditions requiring immediate discontinuation of therapy. Understanding these mechanisms is essential for clinicians because early identification and appropriate management of drug-related complications can prevent significant morbidity while maintaining adequate seizure control.

Neurological adverse effects represent some of the most frequently encountered complications of antiseizure pharmacotherapy. Many agents influence central nervous system activity beyond epileptic networks, resulting in sedation, dizziness, fatigue, impaired coordination, tremor, cognitive slowing, and reduced psychomotor performance. These effects are particularly important in elderly patients, individuals with pre-existing cognitive impairment, and those receiving multiple medications with central nervous system activity. Chronic exposure to certain antiseizure medications may contribute to memory impairment, attention difficulties, and reduced executive function, thereby negatively influencing educational achievement, occupational performance, and social functioning.

Cognitive adverse effects are clinically significant because epilepsy itself is associated with cognitive dysfunction through mechanisms involving recurrent seizures, structural brain abnormalities, neuroinflammation, sleep disturbance, psychiatric comorbidity, and underlying neurological disease. Differentiating medication-related cognitive impairment from disease-related cognitive decline therefore represents a complex clinical challenge. Modern therapeutic strategies increasingly prioritize medications with favorable cognitive profiles, particularly in patients with high cognitive demands or pre-existing neurological vulnerability.

Psychiatric complications constitute another important consideration in long-term antiseizure therapy. Certain medications may influence mood regulation, emotional processing, and behavioral control through interactions with neurotransmitter systems involved in affective regulation. Depression, anxiety, irritability, aggression, and suicidal ideation have been reported in association with some antiseizure medications, although the relationship is influenced by multiple factors including underlying epilepsy severity, psychosocial stress, previous psychiatric history, and individual biological susceptibility. Continuous psychological assessment and multidisciplinary management are therefore essential components of comprehensive epilepsy care.

Dermatological adverse reactions represent some of the most clinically important complications because certain antiseizure medications can trigger severe immune-mediated hypersensitivity syndromes. Stevens–Johnson syndrome, toxic epidermal necrolysis, and drug reaction with eosinophilia and systemic symptoms represent rare but potentially fatal reactions characterized by extensive skin involvement, systemic inflammation, and multiorgan dysfunction. Aromatic antiseizure medications are particularly associated with these reactions, and genetic predisposition plays a critical role in determining susceptibility. Identification of specific human leukocyte antigen variants has enabled implementation of pharmacogenetic screening strategies that substantially reduce the risk of severe cutaneous reactions in high-risk populations.

Hepatotoxicity represents another important medication-related complication. Several antiseizure medications undergo hepatic metabolism and may produce elevations in liver enzymes, hepatocellular injury, or, rarely, severe liver failure. The mechanisms underlying hepatotoxicity include direct toxic metabolites, mitochondrial dysfunction, oxidative stress, and immune-mediated hepatic injury. Patients with pre-existing liver disease, metabolic disorders, or concurrent exposure to hepatotoxic medications require careful monitoring and individualized treatment selection. Periodic laboratory evaluation remains essential when clinically indicated, particularly during initiation or escalation of therapies with known hepatic risks.

Hematological complications, although uncommon, represent serious potential adverse effects of certain antiseizure medications. Bone marrow suppression, thrombocytopenia, leukopenia, and aplastic anemia have been reported with selected agents. These reactions may occur through direct toxic effects on hematopoietic cells or immune-mediated mechanisms. Recognition of unexplained fatigue, recurrent infections, abnormal bleeding, or laboratory abnormalities is essential for early detection and intervention. Appropriate monitoring strategies should be tailored according to medication-specific risk profiles.

Metabolic complications represent an increasingly recognized aspect of long-term antiseizure treatment. Certain medications influence bone metabolism by altering vitamin D metabolism, calcium regulation, and hormonal pathways, thereby increasing the risk of osteopenia and osteoporosis. This concern is particularly relevant among patients requiring lifelong therapy, elderly individuals, and those with additional risk factors for skeletal disease. Preventive strategies including nutritional optimization, physical activity, vitamin supplementation when clinically appropriate, and periodic assessment of bone health may reduce long-term complications.

Weight-related effects also contribute significantly to treatment tolerability. Some antiseizure medications are associated with weight gain through mechanisms involving appetite regulation, metabolic signaling, insulin sensitivity, and hormonal pathways. Conversely, other agents may produce weight loss through appetite suppression or altered energy metabolism. These effects are clinically relevant because obesity independently increases cardiovascular risk, systemic inflammation, and medication-related complications, whereas excessive weight loss may compromise nutritional status and overall health. Individualized medication selection should therefore consider metabolic consequences alongside seizure efficacy.

Reproductive and hormonal complications require particular attention because many individuals with epilepsy require lifelong therapy during their reproductive years. Certain antiseizure medications influence sex hormone metabolism, fertility, menstrual regularity, and contraceptive effectiveness through interactions with hepatic enzyme systems. Enzyme-inducing medications can accelerate metabolism of hormonal contraceptives, reducing contraceptive reliability and potentially resulting in unintended pregnancy. Conversely, pregnancy introduces complex pharmacokinetic changes that may reduce antiseizure medication concentrations and increase seizure risk. Management requires careful balancing of maternal seizure control, fetal safety, medication exposure, and individualized risk assessment.

Teratogenicity represents one of the most important concerns in women with epilepsy because uncontrolled seizures and antiseizure medication exposure may both adversely affect pregnancy outcomes. Certain medications are associated with increased risks of congenital malformations, neurodevelopmental impairment, and pregnancy complications. However, discontinuation of effective therapy may expose both mother and fetus to substantial risks from recurrent seizures. Modern management therefore emphasizes preconception counseling, optimization of medication selection, avoidance of unnecessary polytherapy, use of the lowest effective dose, and coordinated care involving neurologists, obstetricians, and maternal-fetal medicine specialists.

Drug interactions represent another major challenge in epilepsy pharmacotherapy. Many individuals with epilepsy receive multiple medications because of neurological, psychiatric, cardiovascular, metabolic, or infectious comorbidities. Antiseizure medications may alter the metabolism of other drugs through induction or inhibition of hepatic enzymes, while concomitant medications may modify antiseizure drug concentrations through effects on absorption, metabolism, or elimination. These interactions can result in reduced seizure control,

increased toxicity, or therapeutic failure. Comprehensive medication review and awareness of pharmacological interactions are therefore essential components of safe epilepsy management.
Therapeutic drug monitoring provides an additional strategy for optimizing antiseizure therapy in selected clinical situations. Measurement of serum drug concentrations may assist in evaluating adherence, managing drug interactions, adjusting therapy during pregnancy, assessing toxicity, and investigating unexplained seizure recurrence. However, therapeutic ranges should not be interpreted rigidly because clinical response varies among individuals, and seizure control remains the primary therapeutic goal rather than achieving a predetermined laboratory value.
The emergence of precision medicine offers significant opportunities to reduce drug-related complications through improved prediction of individual susceptibility. Integration of pharmacogenomics, biomarkers, electronic health records, artificial intelligence, and clinical decision-support systems may enable clinicians to identify patients at increased risk of adverse reactions before treatment initiation. Such approaches represent a transition from reactive management of medication toxicity toward proactive prevention through personalized therapeutic selection.
The future of epilepsy treatment is increasingly defined by a transition from symptomatic seizure suppression toward mechanism-based, individualized, and potentially disease-modifying therapeutic approaches. Traditional antiseizure medications primarily reduce neuronal excitability after epileptic networks have already developed, but they generally do not prevent epileptogenesis or reverse established pathological changes. Advances in molecular neuroscience, immunology, genetics, biotechnology, and computational medicine are now creating opportunities to intervene at earlier stages of disease development and target the biological mechanisms responsible for epilepsy itself.
Precision medicine represents one of the most transformative concepts in modern epileptology. Rather than applying uniform treatment strategies based solely on seizure classification, precision therapeutics integrates genomic information, molecular biomarkers, neuroimaging characteristics, electrophysiological patterns, immune profiles, and clinical variables to determine the most appropriate intervention for each individual patient. This approach recognizes that epilepsy represents a collection of biologically diverse disorders requiring tailored therapeutic solutions.
Genomic-guided therapy has already demonstrated clinical value in selected epilepsy syndromes. Identification of pathogenic variants allows clinicians to predict disease course, select appropriate treatments, avoid potentially harmful medications, and provide accurate genetic counseling. In metabolic and genetic epilepsies, molecular diagnosis may reveal specific therapeutic opportunities including dietary interventions, pathway-specific medications, enzyme replacement strategies, and targeted molecular therapies. Continued expansion of genomic databases and improved interpretation of rare genetic variants are expected to further enhance clinical implementation.
Gene-based therapeutic strategies represent one of the most promising frontiers in epilepsy research. Viral vector-mediated gene replacement approaches aim to restore functional copies of defective genes responsible for inherited epilepsies, while antisense oligonucleotides modify abnormal RNA expression and restore physiological protein production. RNA interference technologies provide additional opportunities to selectively suppress pathogenic gene expression. Although challenges remain regarding delivery methods, immune responses, long-term safety, and ethical considerations, these approaches represent a fundamental shift toward correcting the molecular causes of disease rather than merely controlling symptoms.

Immunotherapy is likely to become increasingly important as understanding of neuroinflammatory mechanisms continues to expand. Patients with autoimmune epilepsy may benefit substantially from early identification and targeted immune intervention. Beyond established therapies such as corticosteroids, intravenous immunoglobulin, plasma exchange, and B-cell depletion, future strategies may involve selective cytokine inhibitors, complement pathway modulation, microglial regulation, and personalized immune therapies guided by biomarker profiles. Such approaches may provide disease-modifying effects by interrupting inflammatory processes that sustain epileptic networks.

Neuromodulation technologies have also expanded therapeutic possibilities for patients with drug-resistant epilepsy. Vagus nerve stimulation, deep brain stimulation, responsive neurostimulation, and emerging closed-loop electrical systems provide alternatives for individuals who are not candidates for curative epilepsy surgery. These technologies are becoming increasingly sophisticated through integration with artificial intelligence, real-time electrophysiological monitoring, and adaptive stimulation algorithms designed to respond dynamically to individual seizure patterns.

The integration of artificial intelligence into epilepsy care represents another major advancement. Machine learning algorithms are increasingly capable of analyzing complex datasets derived from electroencephalography, neuroimaging, genetics, wearable devices, and clinical records. These systems may improve seizure prediction, identify epileptogenic networks, personalize medication selection, and forecast treatment outcomes. Although ethical considerations, data quality, interpretability, and clinical validation remain important challenges, artificial intelligence has the potential to substantially enhance decision-making within precision epilepsy medicine.

The emerging therapeutic approaches indicate that the future management of epilepsy will depend upon integration of biological understanding with technological innovation. The ultimate goal is not merely to suppress seizures but to prevent disease development, reverse pathological mechanisms, preserve neurological function, and improve quality of life. Achieving this objective will require continued collaboration among neuroscientists, immunologists, geneticists, pharmacologists, engineers, clinicians, and patient communities to translate scientific discoveries into effective clinical solutions.

The increasing recognition of immune-mediated mechanisms in epilepsy has stimulated a major paradigm shift from conventional symptomatic seizure control toward therapeutic strategies aimed at modifying the biological processes responsible for epileptogenesis. Although antiseizure medications remain the foundation of clinical management, they primarily reduce neuronal hyperexcitability after epileptic networks have already developed and generally do not prevent the transition from neurological injury to chronic epilepsy. In contrast, immunotherapies and targeted anti-inflammatory interventions seek to interrupt pathological inflammatory cascades at earlier stages, potentially preventing disease progression and improving long-term neurological outcomes.

The strongest clinical evidence supporting immune-based treatment originates from autoimmune epilepsies associated with pathogenic neuronal antibodies. In these conditions, rapid identification of immune mechanisms and early initiation of immunotherapy are strongly associated with improved seizure control, cognitive recovery, and functional outcomes. Corticosteroids remain among the most frequently utilized first-line immunotherapies because of their broad anti-inflammatory effects, including suppression of cytokine transcription, inhibition of lymphocyte activation, stabilization of the blood–brain barrier, and reduction of inflammatory mediator production. Despite their effectiveness, long-term corticosteroid

exposure is limited by metabolic, cardiovascular, infectious, and endocrine complications, emphasizing the need for more selective therapeutic approaches.

Intravenous immunoglobulin has become an important therapeutic option in immune-mediated neurological disorders because of its complex immunomodulatory properties. Rather than functioning solely as an antibody replacement therapy, intravenous immunoglobulin influences multiple immune pathways, including Fc receptor signaling, complement activation, autoantibody neutralization, cytokine regulation, and regulatory T-cell function. Clinical experience suggests that selected patients with autoimmune epilepsy may demonstrate significant improvement following intravenous immunoglobulin therapy, particularly when treatment is initiated during early disease stages.

Plasma exchange provides another mechanism-based approach by directly removing circulating pathogenic antibodies, immune complexes, and inflammatory mediators from the bloodstream. This therapy may produce rapid neurological improvement in antibody-mediated epilepsies, particularly those involving antibodies directed against extracellular neuronal proteins. However, its effectiveness depends on the pathogenic contribution of circulating antibodies, and repeated procedures may be limited by vascular access challenges, infection risk, and resource availability.

B-cell-targeted therapies represent an important advancement in the treatment of antibody-associated neurological disorders. B lymphocytes contribute substantially to autoimmune epilepsy through antigen presentation, cytokine production, and differentiation into antibody-producing plasma cells. Monoclonal antibodies targeting B-cell populations have demonstrated clinical benefit in selected autoimmune epilepsies by reducing pathogenic antibody production and suppressing abnormal immune activation. Future therapeutic development may focus on more selective approaches capable of eliminating pathogenic immune cell populations while preserving protective immune function.

Beyond broad immunosuppression, increasing attention is directed toward specific inflammatory pathways involved in epileptogenesis. The interleukin-1 signaling pathway represents a particularly promising target because of its extensive involvement in seizure-induced inflammation, neuronal excitability, and blood–brain barrier disruption. Experimental models demonstrate that inhibition of interleukin-1 signaling reduces seizure susceptibility and attenuates neuroinflammatory changes. Similarly, modulation of tumor necrosis factor signaling, high mobility group box one pathways, complement activation, and inflammasome function has demonstrated therapeutic potential in preclinical studies.

The NLRP3 inflammasome has emerged as an important molecular regulator of neuroinflammation in epilepsy. This intracellular protein complex detects cellular stress signals and promotes production of mature inflammatory cytokines, particularly interleukin-1 beta and interleukin-18. Activation of the inflammasome occurs following traumatic injury, oxidative stress, mitochondrial dysfunction, and seizure activity, creating a link between cellular injury and immune amplification. Pharmacological inhibition of inflammasome activation has demonstrated antiepileptic and neuroprotective effects in experimental studies, suggesting a potential avenue for future disease-modifying therapies.

Microglial modulation represents another promising therapeutic direction. Because microglia occupy a central position at the intersection of immune regulation, synaptic remodeling, and neuronal survival, selective control of microglial activation states may provide opportunities to reduce pathological inflammation while maintaining essential physiological functions. Future therapies may focus on shifting microglial responses from chronic inflammatory phenotypes toward reparative and neuroprotective states through regulation of metabolic pathways, intracellular signaling mechanisms, and epigenetic processes.

Despite encouraging findings, significant challenges remain before immunotherapies can be widely applied across epilepsy populations. Epilepsy-associated inflammation is highly heterogeneous, and not all patients demonstrate immune-driven mechanisms. Broad immunosuppression may provide limited benefit in non-inflammatory epilepsies while exposing patients to unnecessary risks. Therefore, development of reliable biomarkers capable of identifying patients most likely to respond to immunotherapy represents a critical research priority. Biomarkers reflecting cytokine profiles, autoantibody status, neuroimaging characteristics, immune cell signatures, and molecular patterns may enable individualized immunotherapeutic strategies.

The development of reliable biomarkers represents one of the most important priorities in modern epilepsy research. Biomarkers have the potential to transform epilepsy management by improving early diagnosis, predicting disease progression, identifying treatment-responsive subgroups, monitoring therapeutic response, and facilitating the development of novel interventions. The complexity of epileptogenesis requires biomarker strategies capable of capturing multiple dimensions of disease biology, including electrical activity, structural alterations, immune activation, molecular changes, and metabolic dysfunction.

Electroencephalographic biomarkers remain among the most established tools in epilepsy diagnosis and monitoring. Advances in high-density electroencephalography, quantitative signal analysis, and artificial intelligence-assisted interpretation have enhanced the ability to identify subtle abnormalities associated with epileptic networks. Beyond conventional seizure detection, computational analysis of electroencephalographic patterns may reveal biomarkers associated with seizure susceptibility, treatment response, and disease progression. Interictal epileptiform discharges, network synchronization patterns, spectral characteristics, and connectivity measures are increasingly investigated as indicators of underlying epileptogenic mechanisms.

Neuroimaging biomarkers have similarly expanded beyond traditional lesion detection. Advanced magnetic resonance imaging techniques, including diffusion imaging, functional imaging, spectroscopy, and ultra-high-field imaging, provide detailed information regarding structural integrity, connectivity changes, metabolic abnormalities, and functional network alterations. Positron emission tomography and single-photon emission computed tomography contribute additional metabolic and perfusion information, particularly in patients undergoing evaluation for epilepsy surgery. Integration of multimodal imaging datasets through computational approaches has created new opportunities for precise localization of epileptogenic networks.

Molecular biomarkers derived from blood, cerebrospinal fluid, and tissue samples represent another rapidly expanding area of research. Inflammatory cytokines, autoantibodies, microRNAs, extracellular vesicles, metabolomic profiles, and genetic signatures have all demonstrated potential diagnostic or prognostic value. The identification of circulating biomarkers is particularly attractive because minimally invasive testing could enable early detection and longitudinal monitoring. However, challenges remain regarding specificity, reproducibility, standardization, and clinical validation.

Autoimmune biomarkers have already significantly influenced clinical practice. Detection of neuronal antibodies has transformed the diagnosis of immune-mediated epilepsy and enabled targeted immunotherapy. However, antibody-negative autoimmune epilepsies remain a significant challenge, highlighting the need for additional immune biomarkers capable of identifying patients with inflammatory disease mechanisms despite the absence of currently recognized antibodies.

Metabolic biomarkers are also receiving increasing attention because epilepsy involves profound alterations in cellular energy metabolism. Metabolomic studies have identified changes in lipid metabolism, amino acid pathways, oxidative stress markers, and mitochondrial metabolites associated with seizure activity and disease progression. These findings may provide new insights into metabolic vulnerabilities within epileptic networks and support development of targeted metabolic therapies.

The integration of multiple biomarker domains represents the future direction of precision epilepsy diagnostics. Combining electrophysiological, imaging, genetic, immunological, and metabolic information through artificial intelligence platforms may allow creation of comprehensive biological profiles for individual patients. Such approaches could replace traditional classification systems based primarily on seizure appearance with biologically informed models capable of predicting prognosis and therapeutic response.

Artificial intelligence has emerged as a transformative technology capable of addressing several longstanding challenges in epilepsy diagnosis, monitoring, and treatment. The complexity of epilepsy generates enormous quantities of clinical, electrophysiological, imaging, genomic, and pharmacological data that exceed the capacity of conventional analytical approaches. Machine learning and deep learning algorithms provide powerful methods for identifying patterns within these complex datasets and generating clinically meaningful predictions.

One of the most promising applications of artificial intelligence is automated seizure detection and prediction. Traditional electroencephalographic interpretation requires extensive specialist expertise and remains vulnerable to interobserver variability. Artificial intelligence systems trained on large electroencephalographic datasets can identify epileptic patterns with increasing accuracy and may assist clinicians in diagnosis, long-term monitoring, and intensive care management. Wearable devices incorporating physiological sensors and artificial intelligence algorithms may further enable continuous outpatient seizure surveillance and improve patient safety.

Artificial intelligence also offers opportunities for personalized treatment selection. By integrating clinical characteristics, genetic information, imaging findings, medication history, and biological biomarkers, computational models may predict which therapies are most likely to achieve seizure control while minimizing adverse effects. Such approaches represent a major advancement beyond current trial-and-error treatment strategies and align with the principles of precision medicine.

Digital health technologies are further expanding opportunities for patient-centered epilepsy care. Mobile applications, remote monitoring platforms, electronic medication tracking systems, and wearable technologies allow continuous assessment of seizure frequency, treatment adherence, sleep patterns, stress levels, and lifestyle factors. These data provide clinicians with a more comprehensive understanding of disease behavior outside the clinical environment and may facilitate earlier therapeutic adjustments.

Despite considerable promise, artificial intelligence implementation requires careful consideration of ethical, technical, and clinical challenges. Data privacy, algorithm transparency, representation of diverse patient populations, cybersecurity, and regulatory oversight remain essential considerations. Artificial intelligence systems must complement rather than replace clinical expertise, ensuring that technological innovation remains integrated within patient-centered neurological care.

Although scientific progress has dramatically expanded understanding of epilepsy biology, significant global challenges continue to limit optimal disease management. Epilepsy remains associated with substantial healthcare disparities, particularly in low- and middle-income

regions where access to neurological specialists, diagnostic technologies, antiseizure medications, epilepsy surgery, and rehabilitation services remains limited. These inequalities contribute to delayed diagnosis, inadequate treatment, increased stigma, and preventable morbidity.

Social stigma remains one of the most persistent challenges affecting individuals with epilepsy worldwide. Misconceptions regarding seizure disorders contribute to discrimination, educational limitations, employment difficulties, and reduced quality of life. Public education initiatives, improved healthcare accessibility, and community-based support programs remain essential components of comprehensive epilepsy management.

Future research priorities will increasingly focus on identifying disease-modifying interventions capable of preventing epileptogenesis before chronic epilepsy develops. Achieving this goal requires improved understanding of the molecular transitions occurring between initial brain injury and established epilepsy. Longitudinal studies integrating genetics, immune profiling, imaging, electrophysiology, and environmental factors will be essential for identifying individuals at highest risk and developing early intervention strategies.

The future of epilepsy research will depend upon interdisciplinary collaboration integrating neuroscience, immunology, genetics, pharmacology, bioengineering, and computational science. Advances in gene therapy, RNA therapeutics, immunomodulation, regenerative medicine, artificial intelligence, and personalized pharmacology provide unprecedented opportunities to transform epilepsy treatment. However, successful translation from experimental discoveries to clinical practice will require rigorous validation, equitable accessibility, ethical oversight, and sustained international cooperation.

The study evidence demonstrates that epilepsy represents a complex biological disorder arising from interactions among neuronal excitability, immune regulation, genetic susceptibility, metabolic function, structural integrity, environmental influences, and pharmacological factors. Modern research has moved beyond traditional concepts of epilepsy as a disorder of abnormal electrical activity toward a comprehensive systems-based understanding involving multiple interconnected biological networks. This evolving perspective provides the foundation for future therapeutic strategies aimed not only at controlling seizures but also at preventing disease development, preserving neurological function, and improving the lives of individuals affected by epilepsy worldwide.

The cumulative evidence evaluated throughout this review demonstrates that epilepsy represents a highly complex neurological disorder arising from the convergence of multiple biological processes rather than a single isolated pathological abnormality. The traditional concept of epilepsy as a disorder characterized exclusively by abnormal neuronal synchronization has progressively evolved into a broader systems-level framework incorporating immune dysregulation, genetic vulnerability, metabolic instability, structural abnormalities, vascular dysfunction, environmental influences, and dynamic alterations in neural networks. This integrated understanding provides a more accurate explanation for the remarkable clinical heterogeneity observed among individuals with epilepsy and highlights why patients with apparently similar seizure manifestations may differ substantially in disease progression, therapeutic response, and long-term outcomes.

A central conclusion emerging from current evidence is that epileptogenesis represents a progressive biological transformation rather than an immediate consequence of an initiating insult. Following neurological injury or developmental abnormality, a complex cascade of molecular and cellular events occurs, including inflammation, oxidative stress, mitochondrial dysfunction, neuronal loss, synaptic reorganization, gliosis, vascular impairment, and alterations in gene expression. These processes gradually modify the structural and functional

properties of neural circuits, eventually producing networks capable of generating spontaneous and recurrent seizures. The identification of this latent period between initiating events and established epilepsy has profound therapeutic implications because it suggests that interventions applied during this window may prevent or delay disease development.

Neuroinflammation has emerged as one of the most consistent pathological themes connecting diverse epileptic etiologies. Whether epilepsy originates from trauma, infection, autoimmune disease, genetic abnormalities, developmental malformations, stroke, or metabolic dysfunction, inflammatory activation frequently represents a common biological pathway. Activated microglia, reactive astrocytes, infiltrating immune cells, cytokines, chemokines, complement proteins, and inflammatory signaling cascades collectively influence neuronal excitability and network remodeling. Importantly, inflammation is not merely a secondary reaction to seizures but an active participant capable of initiating and maintaining epileptic activity. This recognition has created new opportunities for therapeutic intervention targeting inflammatory mechanisms.

The relationship between immune activation and neuronal function is particularly complex because inflammatory processes may exert both beneficial and harmful effects depending on timing, intensity, and cellular context. Acute inflammatory responses are essential for tissue repair, removal of damaged cellular components, and restoration of homeostasis. However, persistent or excessive immune activation disrupts neuronal stability and promotes pathological remodeling. Future therapies will therefore require precise modulation of immune responses rather than complete suppression, preserving protective immune functions while preventing chronic inflammatory damage.

The interaction between genetic susceptibility and environmental influences represents another fundamental aspect of epileptogenesis. Genetic discoveries have revealed that epilepsy-associated variants influence a broad range of biological processes, including ion channel function, synaptic transmission, cellular metabolism, neuronal migration, and immune regulation. However, genetic predisposition alone rarely determines disease outcome. Instead, environmental exposures, developmental factors, inflammatory states, metabolic conditions, and acquired brain injuries interact dynamically with genetic background to shape individual disease trajectories. This gene–environment interaction explains why identical genetic variants may produce variable clinical manifestations among affected individuals.

The expanding field of epigenetics has provided additional insight into how environmental experiences and cellular stress responses influence long-term neuronal function. Epigenetic modifications alter gene expression patterns without changing DNA sequences, allowing neurons and glial cells to adapt to changing biological conditions. During epilepsy, abnormal epigenetic regulation influences inflammatory signaling, synaptic plasticity, neuronal survival pathways, and metabolic processes. Because many epigenetic modifications are potentially reversible, they represent attractive targets for future disease-modifying therapies.

Metabolic dysfunction has also become increasingly recognized as a central component of epileptic pathophysiology. Neurons require continuous energy production to maintain electrical stability, and disturbances in mitochondrial function, glucose metabolism, oxidative balance, and cellular bioenergetics directly influence seizure susceptibility. The relationship between metabolism and epilepsy is particularly evident in metabolic epilepsies, mitochondrial disorders, and the clinical effectiveness of ketogenic dietary therapies. These observations demonstrate that modifying cellular energy pathways can influence neuronal excitability and provide therapeutic benefit.

The neurovascular system represents another critical component of epileptic networks. Blood–brain barrier disruption, endothelial dysfunction, inflammatory infiltration, and altered vascular

signaling contribute to the establishment and maintenance of epileptogenic tissue. The neurovascular unit functions as an integrated system involving endothelial cells, astrocytes, pericytes, microglia, and neurons, and disruption of this system creates a pathological environment favorable for seizure generation. Future therapeutic strategies aimed at preserving vascular integrity may therefore complement existing neuronal and immune-based approaches.
Structural abnormalities continue to represent important determinants of epilepsy development and treatment outcome. Developmental cortical malformations, hippocampal sclerosis, tumors, vascular lesions, and traumatic injuries produce abnormal neuronal circuits capable of sustaining epileptic activity. However, structural pathology alone does not fully explain seizure generation because many individuals with similar lesions demonstrate different clinical outcomes. This observation reinforces the importance of considering structural abnormalities within the broader context of molecular, inflammatory, metabolic, and genetic factors.
The translation of scientific discoveries into clinical practice has significantly transformed epilepsy diagnosis and management. Modern epilepsy care increasingly incorporates advanced imaging, molecular genetics, immunological testing, pharmacogenomics, and computational technologies to provide individualized treatment strategies. This transition represents a fundamental change from traditional approaches based primarily on seizure classification toward biologically informed precision medicine.
One of the most significant clinical advances has been the recognition that accurate etiological diagnosis is essential for optimal treatment selection. Previously, epilepsy classification relied largely upon seizure type and electroencephalographic findings. Although these remain important, modern approaches increasingly incorporate genetic, structural, immune, and metabolic information. Identification of specific disease mechanisms enables clinicians to select targeted therapies, predict prognosis, avoid ineffective treatments, and provide accurate counseling regarding disease inheritance and future risks.
The expanding availability of genetic testing has particularly influenced the management of early-onset epilepsies and developmental epileptic encephalopathies. Molecular diagnosis can reveal specific therapeutic opportunities, including targeted metabolic interventions, pathway-specific medications, and enrollment in clinical trials investigating gene-based therapies. As sequencing technologies become more accessible and interpretation methods improve, genomic information is expected to become increasingly integrated into routine epilepsy practice.
Immunological evaluation has similarly transformed the management of selected patients. Recognition of autoimmune epilepsy has demonstrated that some forms of treatment-resistant epilepsy may improve significantly when underlying immune mechanisms are identified and treated appropriately. This represents a major conceptual shift because it highlights that failure of conventional antiseizure therapy does not always indicate irreversible disease but may instead reflect an untreated pathological mechanism requiring alternative therapeutic strategies.
The development of precision pharmacotherapy represents another major clinical advancement. Traditional antiseizure medication selection often relied on empirical trial-and-error approaches, resulting in prolonged periods of inadequate seizure control and exposure to unnecessary adverse effects. Pharmacogenomic information, molecular biomarkers, and artificial intelligence-based prediction models offer opportunities to improve treatment selection by identifying medications most likely to provide benefit for individual patients.
Despite these advances, clinical implementation remains challenging. Many emerging technologies require specialized expertise, substantial financial resources, and healthcare infrastructure that are not universally available. Differences in access to genetic testing, advanced imaging, epilepsy surgery, and specialized neurological care contribute significantly

to global disparities in epilepsy outcomes. Addressing these inequalities remains a major priority for international healthcare systems.

Although remarkable progress has been achieved in understanding epilepsy, numerous fundamental questions remain unanswered. The precise mechanisms determining why some individuals develop epilepsy after neurological injury while others recover without seizures remain incompletely understood. Similarly, the factors responsible for progression from early disease stages to chronic pharmacoresistant epilepsy require further investigation.

A major limitation in current epilepsy research is the heterogeneity of disease mechanisms. Epilepsy encompasses numerous disorders with distinct genetic, structural, immune, metabolic, and environmental contributors. Consequently, findings from one epilepsy subtype cannot always be generalized to others. Future research must therefore prioritize biologically defined patient populations rather than relying exclusively on traditional clinical classifications.

Another challenge involves translating experimental discoveries into effective clinical therapies. Many promising treatments demonstrate significant benefits in animal models but fail to achieve comparable outcomes in human trials due to differences in disease complexity, timing of intervention, pharmacological limitations, or inadequate patient selection. Improved translational models that more accurately reproduce human epilepsy biology are urgently needed.

Biomarker development remains another unresolved area. Although numerous candidate biomarkers have been identified, few have achieved widespread clinical validation. Effective biomarkers must demonstrate high sensitivity, specificity, reproducibility, and practical clinical applicability. Future research should focus on integrating multiple biomarker domains rather than relying on single molecular indicators.

The long-term safety and effectiveness of emerging therapies also require careful investigation. Gene therapies, immune-based treatments, advanced neuromodulation systems, and molecular interventions offer considerable promise but introduce new ethical, technical, and safety considerations. Rigorous evaluation through well-designed clinical trials will be essential before widespread implementation.

The future of epilepsy research will increasingly depend on interdisciplinary integration of molecular neuroscience, immunology, genetics, pharmacology, computational biology, and clinical medicine. The ultimate objective is to move beyond seizure suppression toward prevention, reversal, and cure. Achieving this goal requires identification of individuals at high risk, early intervention during vulnerable biological periods, and development of therapies capable of modifying disease mechanisms.

Future investigations should prioritize longitudinal studies following patients from initial neurological injury through disease development and treatment response. Such studies integrating genomic, immunological, metabolic, imaging, and electrophysiological information will provide critical insight into disease evolution and therapeutic opportunities.

Reducing global disparities in epilepsy care should remain a major international priority. Millions of individuals worldwide continue to experience inadequate diagnosis and treatment because of limited access to specialists, medications, diagnostic technologies, and surgical services.

Healthcare systems should strengthen epilepsy programs through improved medical education, availability of essential antiseizure medications, and development of regional epilepsy centers, telemedicine expansion, and public awareness initiatives. Global strategies should focus not only on seizure control but also on reducing stigma, improving social integration, and supporting affected individuals and families.

Patients with epilepsy should be actively involved in treatment decisions through comprehensive education regarding disease mechanisms, medication choices, lifestyle factors, safety considerations, and long-term prognosis. Shared decision-making improves treatment adherence, strengthens therapeutic relationships, and allows healthcare providers to consider patient preferences and individual circumstances.

Educational programs should address misconceptions about epilepsy, reduce stigma, promote early medical evaluation, and encourage appropriate emergency responses during seizures.

Future epilepsy research should emphasize large-scale international collaborations integrating clinical data with genomic, immunological, metabolic, imaging, and environmental information. Development of comprehensive databases and biobanks will accelerate discovery of new biomarkers and therapeutic targets.

Research should also prioritize inclusion of diverse populations to ensure that emerging therapies are effective and accessible worldwide. Clinical trials should incorporate molecular classification strategies to identify patient groups most likely to benefit from specific interventions.

The future of epilepsy care should focus on transforming epilepsy from a disorder managed primarily through lifelong symptomatic treatment into a condition that can be predicted, prevented, modified, and ultimately controlled through individualized biological approaches. Continued innovation in neuroscience, immunology, genetics, pharmacology, and digital medicine provides a realistic pathway toward achieving this objective.

Epilepsy represents one of the most complex and heterogeneous neurological disorders, characterized by intricate interactions among abnormal neuronal excitability, immune dysregulation, genetic susceptibility, structural abnormalities, metabolic disturbances, environmental influences, and pharmacological factors. Contemporary scientific evidence demonstrates that epilepsy is not merely a disorder of excessive electrical activity but a dynamic biological condition involving progressive alterations at molecular, cellular, network, and systemic levels. This expanded understanding has fundamentally changed the conceptual framework of epilepsy, transforming it from a symptom-focused disorder into a multifactorial disease requiring integrated biological investigation and individualized therapeutic approaches.

The analysis of immunological mechanisms has revealed that immune activation plays a central role in the pathogenesis of specific epilepsy subtypes and contributes to epileptogenesis across diverse disease conditions. Autoimmune epilepsy, characterized by pathogenic neuronal antibodies and inflammatory responses, has demonstrated that seizures may result from reversible immune-mediated alterations in synaptic function. Recognition of these mechanisms has enabled the development of immunotherapeutic strategies and emphasized the importance of early diagnosis and targeted intervention. Future advances in neuroimmunology are expected to identify additional immune pathways and improve the ability to distinguish patients who may benefit from immune-based treatments.

Genetic and molecular investigations have significantly expanded understanding of epilepsy biology by identifying numerous pathogenic mechanisms involving ion channels, neurotransmitter systems, synaptic organization, neuronal development, mitochondrial function, and intracellular signaling pathways. The integration of genomic and molecular technologies has demonstrated that epilepsy represents a spectrum of biologically distinct disorders rather than a single clinical entity. These discoveries have created new opportunities for precision medicine, allowing therapeutic decisions to be guided by underlying disease mechanisms rather than solely by seizure classification.

Structural, metabolic, and environmental mechanisms further demonstrate the complexity of epileptogenesis. Developmental abnormalities, traumatic injuries, vascular disorders, tumors,

infections, and metabolic disturbances contribute to the formation of epileptic networks through interconnected processes involving neuronal injury, inflammation, oxidative stress, synaptic remodeling, and altered cellular energy regulation. These findings highlight that epileptogenesis is a progressive process influenced by multiple interacting pathways and provide important opportunities for preventive and disease-modifying interventions.

Pharmacological management remains fundamental to epilepsy treatment; however, significant challenges persist despite major advances in antiseizure medication development. Current therapies successfully control seizures in many individuals but remain primarily symptomatic and do not consistently prevent epileptogenesis or reverse established pathological changes. Drug resistance, adverse effects, pharmacological interactions, and individual variability in treatment response continue to limit therapeutic success. These challenges emphasize the necessity of developing safer, more effective, and mechanism-based therapies supported by pharmacogenomics, biomarkers, and personalized treatment strategies.

The emergence of precision medicine represents a major transition in epilepsy care. Integration of genetic testing, immune profiling, advanced neuroimaging, metabolic analysis, artificial intelligence, and digital health technologies provides unprecedented opportunities to improve diagnosis, predict treatment response, minimize medication-related complications, and optimize long-term outcomes. The future of epilepsy management will likely depend on individualized therapeutic models capable of addressing the unique biological characteristics of each patient.

Despite remarkable progress, important scientific and clinical challenges remain. Improved biomarkers are required for early diagnosis, risk prediction, and monitoring of therapeutic effectiveness. Further research is needed to understand the mechanisms underlying pharmacoresistance, identify novel disease-modifying interventions, and translate promising experimental discoveries into clinically effective therapies. Global inequalities in access to specialized epilepsy care, diagnostic technologies, and modern treatments must also be addressed to ensure that scientific advances benefit populations worldwide.

The epilepsy research should therefore continue to emphasize interdisciplinary collaboration integrating neuroscience, immunology, genetics, pharmacology, bioengineering, and computational science. The development of innovative therapies, including gene-based approaches, immune modulation, metabolic interventions, neuromodulation technologies, and artificial intelligence-supported clinical decision systems, offers significant promise for transforming epilepsy management.

Epilepsy is a multifactorial neurological disease arising from complex interactions between biological systems rather than a single pathological mechanism. Advances in understanding immunological, molecular, structural, metabolic, and pharmacological pathways have created new possibilities for diagnosis, prevention, and treatment. The ultimate objective of modern epilepsy research is to move beyond lifelong seizure suppression toward disease prediction, prevention, modification, and restoration of neurological health. Continued scientific innovation, global collaboration, and implementation of precision therapeutic approaches will be essential for reducing the worldwide burden of epilepsy and improving the lives of individuals affected by this challenging disorder.

The epilepsy care should prioritize the development and implementation of precision medicine frameworks that integrate genetic, immunological, metabolic, structural, electrophysiological, and clinical information. Because epilepsy represents a highly heterogeneous group of disorders, treatment strategies should move beyond generalized approaches and focus on identifying individual biological mechanisms responsible for seizure generation and disease progression. Comprehensive molecular profiling should become increasingly accessible to

guide diagnosis, prognosis estimation, and therapeutic selection.

Early identification of individuals at risk of developing epilepsy should become a major clinical and research priority. Patients experiencing traumatic brain injury, stroke, central nervous system infection, autoimmune disorders, developmental abnormalities, or genetic risk factors should undergo appropriate evaluation for early markers of epileptogenesis. Development of predictive models incorporating neuroimaging, electroencephalography, inflammatory biomarkers, genetic information, and artificial intelligence algorithms may enable preventive interventions before chronic epilepsy becomes established.

The emergence of artificial intelligence, large-scale biological datasets, and personalized medicine provides unprecedented opportunities to transform epilepsy care. Computational approaches capable of integrating complex biological information may enable accurate prediction of disease trajectories and individualized therapeutic decisions. However, these technologies must be implemented responsibly with attention to ethical considerations, accessibility, and patient-centered care.

The evidence demonstrates that epilepsy represents a multidimensional disorder characterized by interactions among neuronal excitability, immune regulation, genetic architecture, metabolic processes, structural abnormalities, and environmental influences. Advances in understanding these mechanisms have already transformed diagnosis and treatment while opening new possibilities for disease modification. Continued scientific innovation, international collaboration, and equitable healthcare implementation will be essential to achieving the ultimate goal of reducing the global burden of epilepsy and improving neurological health worldwide.

The comprehensive discussion of contemporary epilepsy research demonstrates that epilepsy should no longer be considered solely an electrical disorder characterized by abnormal neuronal synchronization. Instead, current evidence supports a multidimensional disease model in which genetic predisposition, immune activation, structural alterations, metabolic disturbances, environmental influences, and molecular dysfunction interact continuously to initiate and sustain epileptic networks. This conceptual transformation has profound implications for diagnosis, treatment development, and future research directions because it shifts the therapeutic objective from temporary seizure suppression toward prevention of epileptogenesis and restoration of physiological neuronal function.

The analysis of pathogenic mechanisms reveals that epilepsy develops through a dynamic interaction between intrinsic neuronal vulnerability and external biological stressors. Genetic factors may establish an initial susceptibility by altering ion channels, synaptic proteins, neuronal migration pathways, mitochondrial function, or immune regulation. However, genetic susceptibility alone is frequently insufficient to produce clinical epilepsy. Instead, environmental triggers, developmental abnormalities, trauma, infection, vascular injury, metabolic imbalance, or immune dysregulation may activate molecular cascades that transform normal neuronal networks into hyperexcitable circuits. This interaction explains the considerable variability in epilepsy onset, severity, progression, and treatment response among individuals with similar clinical presentations.

A major finding is the central role of impaired excitation–inhibition balance in epileptogenesis. Normal brain function depends upon precise coordination between excitatory glutamatergic signaling and inhibitory gamma-aminobutyric acid-mediated neurotransmission. Epileptic networks emerge when this equilibrium becomes disrupted through excessive excitation, insufficient inhibition, or both mechanisms simultaneously. Ion channel abnormalities, receptor dysfunction, synaptic remodeling, inflammatory signaling, and metabolic disturbances all contribute to this imbalance. Therefore, successful therapeutic strategies must consider the

entire regulatory network controlling neuronal stability rather than focusing exclusively on individual molecular targets.

The evaluation of immunological mechanisms indicates that inflammation represents one of the most significant unifying pathways across multiple epilepsy subtypes. Although autoimmune epilepsy represents the most clinically recognized immune-mediated form, inflammatory processes are increasingly identified in structural, metabolic, infectious, and genetic epilepsies as well. This observation suggests that immune activation is not restricted to a specific epilepsy category but may represent a common biological response contributing to neuronal dysfunction.

The study of autoimmune epilepsy demonstrates that neuronal antibodies can directly influence synaptic physiology without necessarily causing irreversible neuronal destruction. Antibodies against neuronal surface proteins alter receptor density, synaptic transmission, and neuronal communication, creating potentially reversible functional abnormalities. This explains why patients with antibody-mediated epilepsy may experience dramatic improvement following immunotherapy despite severe initial neurological manifestations. The clinical importance of this finding lies in the necessity of early recognition because prolonged immune activation may eventually result in structural neuronal damage and permanent neurological impairment.

The immune-mediated mechanisms remain incompletely understood. Many patients with clinical features suggestive of autoimmune epilepsy do not demonstrate currently recognized antibodies, indicating that additional immune pathways remain unidentified. Future research should therefore focus on discovering novel immune biomarkers, characterizing antibody-negative inflammatory epilepsies, and determining which immune pathways represent therapeutic targets.

The relationship between neuroinflammation and pharmacoresistance is particularly important. Chronic inflammatory activation modifies neuronal receptors, alters transporter expression, disrupts blood–brain barrier function, and promotes synaptic reorganization. These changes may reduce responsiveness to conventional antiseizure medications. Therefore, inflammation may not only contribute to seizure generation but also represent a biological mechanism underlying treatment failure.

The study of genetic mechanisms demonstrates that epilepsy represents a spectrum of disorders influenced by numerous molecular pathways rather than a limited number of disease-causing genes. Advances in genomic technologies have revealed extensive genetic heterogeneity involving ion channels, synaptic proteins, developmental regulators, metabolic enzymes, and immune-related genes. This diversity explains why epilepsy phenotypes range from mild, self-limited seizure disorders to severe developmental epileptic encephalopathies associated with profound neurological impairment.

A significant analytical observation is that molecular discoveries have changed the classification of epilepsy from an exclusively clinical system toward a biologically informed framework. Genetic diagnosis now provides information regarding prognosis, treatment selection, disease mechanisms, and family counseling. For example, identification of specific molecular abnormalities may indicate responsiveness to targeted therapies while simultaneously avoiding ineffective or potentially harmful medications.

Nevertheless, genetic findings must be interpreted cautiously because many variants demonstrate incomplete penetrance and variable clinical expression. The presence of a pathogenic variant does not always predict disease severity, and additional modifying factors such as environmental exposures, epigenetic regulation, immune status, and metabolic conditions influence clinical outcomes. Therefore, future genetic analysis must integrate genomic information with broader biological datasets.

Epigenetic mechanisms represent another important analytical dimension because they provide a biological connection between environmental influences and gene expression. Epigenetic modifications allow neurons to adapt to physiological and pathological conditions; however, persistent abnormal regulation may contribute to chronic epileptic states. The reversibility of epigenetic changes creates an attractive therapeutic opportunity, although further research is required to identify safe and effective approaches.

The study of current pharmacological strategies reveals substantial progress in seizure control but also highlights persistent limitations. Modern antiseizure medications provide effective treatment for many patients; however, approximately one-third of individuals continue to experience uncontrolled seizures despite appropriate therapy. This persistent pharmacoresistance represents one of the greatest challenges in epilepsy management and indicates that seizure suppression alone cannot overcome the complex biological mechanisms maintaining epileptic networks.

The limitations of conventional pharmacotherapy can be explained by several interacting mechanisms. Most antiseizure medications act by reducing neuronal excitability, enhancing inhibitory signaling, or limiting excitatory neurotransmission. While these mechanisms effectively suppress seizure activity, they generally do not reverse the underlying processes responsible for epileptogenesis. Consequently, patients may continue to experience progressive network remodeling, cognitive decline, and increased seizure susceptibility despite medication use.

Drug resistance analysis demonstrates that pharmacoresistance is a multifactorial phenomenon involving genetic differences, altered drug targets, increased drug transport mechanisms, inflammatory activation, structural abnormalities, and metabolic dysfunction. This complexity explains why increasing medication dosage or combining multiple antiseizure drugs often fails to achieve complete seizure control in resistant epilepsy.

The emergence of precision pharmacology provides a potential solution to these limitations. Pharmacogenomic testing, biomarker analysis, and artificial intelligence-based prediction models may allow clinicians to identify the most appropriate medication for each patient. Such approaches could reduce unnecessary exposure to ineffective therapies and minimize adverse effects.

Evaluation of drug-related complications emphasizes that epilepsy treatment must extend beyond seizure reduction. Long-term medication exposure influences neurological function, psychological health, metabolism, bone integrity, reproductive health, and systemic physiology. These effects significantly affect treatment adherence and quality of life.

The analysis indicates that adverse effects are not merely unavoidable consequences of therapy but often reflect interactions between pharmacological mechanisms and individual biological characteristics. Genetic variations affecting drug metabolism, immune response, and receptor sensitivity contribute significantly to differences in medication tolerability. Therefore, personalized risk assessment represents an essential component of modern epilepsy management.

The increasing application of pharmacogenomics demonstrates the potential to prevent severe adverse reactions before treatment begins. Genetic screening for medication-associated hypersensitivity syndromes represents one of the clearest examples of successful precision medicine implementation in neurology. Similar approaches may expand to predict cognitive effects, psychiatric complications, metabolic consequences, and therapeutic efficacy.

The future direction of epilepsy research is characterized by movement toward disease modification rather than symptomatic treatment alone. Emerging therapies including gene therapy, RNA-based therapeutics, immune modulation, metabolic interventions,

neuromodulation, and artificial intelligence-guided treatment represent a fundamental shift in therapeutic philosophy.

Gene-based approaches are particularly promising for genetically determined epilepsies because they address the underlying molecular defect rather than the resulting seizures. However, challenges related to delivery systems, immune responses, long-term safety, and accessibility must be resolved before widespread clinical application.

Immunomodulatory therapies provide another important avenue because they target inflammatory mechanisms involved in epileptogenesis. The greatest challenge is identifying patients whose epilepsy is primarily driven by immune dysfunction. Development of reliable biomarkers will therefore determine the success of future immunotherapeutic approaches.

Artificial intelligence represents a transformative tool capable of integrating complex biological information into clinical decision-making. By combining electrophysiological data, imaging findings, genomic profiles, and treatment histories, artificial intelligence systems may improve diagnosis, prognosis prediction, and personalized therapy selection. However, technological advancement must be accompanied by ethical safeguards, clinical validation, and equitable access.

The study confirms that epilepsy is a biologically heterogeneous disorder requiring an integrated approach combining neuroscience, immunology, genetics, pharmacology, and computational medicine. The complexity of epileptogenesis explains why traditional treatment approaches achieve incomplete success and highlights the necessity of developing individualized therapeutic strategies.

Future progress will depend on identifying biological signatures that define distinct epilepsy subtypes and guide targeted interventions. The integration of molecular diagnostics, advanced imaging, immune profiling, pharmacogenomics, and artificial intelligence offers the possibility of transforming epilepsy from a disorder managed primarily through seizure suppression into a condition treated through prevention, modification, and restoration of normal neurological function.

The ultimate goal of future epilepsy research is therefore not only to reduce seizure frequency but also to prevent epileptic network formation, preserve cognitive function, minimize treatment complications, and improve overall patient outcomes. Achieving this objective will require continued international collaboration, translational research, and commitment to implementing precision medicine approaches across diverse healthcare environments.

The epilepsy management should increasingly transition from generalized treatment protocols toward individualized precision medicine strategies. The substantial biological heterogeneity of epilepsy requires diagnostic and therapeutic approaches that consider each patient's unique genetic background, immune profile, structural abnormalities, metabolic characteristics, and environmental influences. Integration of genomic sequencing, pharmacogenomic testing, molecular biomarkers, advanced neuroimaging, and artificial intelligence-based predictive models should become an essential component of modern epilepsy care.

Clinical implementation of precision medicine should focus on identifying biologically defined epilepsy subgroups rather than relying exclusively on traditional classifications based on seizure type and electroencephalographic patterns. Such an approach may improve treatment selection, reduce unnecessary medication exposure, minimize adverse effects, and increase the probability of achieving long-term seizure freedom.

A major priority for future epilepsy research should be the identification and validation of reliable biomarkers capable of detecting disease mechanisms, predicting treatment response, and monitoring therapeutic outcomes. Current diagnostic methods often identify epilepsy only

after recurrent seizures have already occurred, limiting opportunities for preventive intervention.

Future investigations should focus on combining multiple biomarker platforms, including inflammatory markers, neuronal autoantibodies, genetic signatures, microRNAs, metabolic profiles, electrophysiological characteristics, and neuroimaging findings. Multidimensional biomarker approaches supported by artificial intelligence may provide more accurate disease classification and enable early identification of individuals at risk for developing epilepsy.

Given the increasing evidence supporting immune involvement in epileptogenesis, further investigation of neuroimmune mechanisms should be considered a major research priority. Studies should focus on identifying novel autoimmune targets, characterizing antibody-negative immune epilepsies, and defining specific inflammatory pathways responsible for neuronal hyperexcitability.

Future therapeutic development should move beyond broad immunosuppression toward targeted immune modulation. Selective inhibition of cytokine pathways, complement activation, inflammasome signaling, and pathogenic immune cell populations may provide more effective treatments with fewer systemic complications. Development of immune biomarkers will be essential for identifying patients most likely to benefit from immunotherapy.

Although antiseizure medications have significantly improved epilepsy outcomes, the persistence of drug-resistant epilepsy demonstrates the need for continued innovation in pharmacological development. Future drugs should aim not only to suppress seizures but also to modify disease mechanisms involved in epileptogenesis.

Research should prioritize agents targeting neuroinflammation, mitochondrial dysfunction, oxidative stress, synaptic remodeling, abnormal signaling pathways, and genetic abnormalities. Combination therapies designed to influence multiple pathological mechanisms simultaneously may provide greater efficacy than approaches targeting a single biological pathway.

Drug development programs should also emphasize improved safety profiles, reduced cognitive adverse effects, minimal drug interactions, and enhanced suitability for vulnerable populations including children, elderly individuals, and pregnant patients.

Pharmacogenomics should become increasingly incorporated into epilepsy treatment decisions. Genetic differences affecting drug metabolism, immune responses, receptor sensitivity, and transporter function significantly influence therapeutic outcomes and adverse reactions.

Routine pharmacogenomic evaluation may help clinicians select appropriate medications, predict hypersensitivity reactions, optimize dosage strategies, and reduce treatment failure. Expansion of population-specific genetic databases will be necessary to ensure that pharmacogenomic approaches are accurate and applicable across diverse ethnic and geographical populations.

Future epilepsy research should prioritize interventions capable of preventing epileptogenesis rather than only controlling established seizures. Individuals exposed to high-risk conditions such as traumatic brain injury, stroke, central nervous system infection, or genetic predisposition represent important populations for preventive strategies.

Longitudinal studies should investigate molecular changes occurring before seizure onset and identify therapeutic windows during which intervention may prevent chronic epilepsy development. Disease-modifying therapies may include anti-inflammatory agents, metabolic interventions, gene therapies, epigenetic regulators, and neuroprotective compounds.

Artificial intelligence and digital health technologies should be further developed and integrated into epilepsy care. Machine learning algorithms may improve seizure detection, prediction, diagnosis, treatment selection, and outcome forecasting by analyzing complex clinical datasets.

Future digital epilepsy platforms should incorporate wearable technologies, remote monitoring systems, automated electroencephalographic analysis, medication adherence tracking, and patient-reported outcomes. These technologies may improve continuous disease monitoring and enable earlier clinical intervention.

However, artificial intelligence implementation must prioritize ethical standards, patient privacy, data security, algorithm transparency, and equitable accessibility. Technological innovation should complement clinical expertise rather than replace individualized patient-centered decision-making.

Comprehensive epilepsy management requires collaboration among neurologists, neurosurgeons, immunologists, geneticists, pharmacologists, radiologists, psychiatrists, psychologists, rehabilitation specialists, and primary healthcare providers. Multidisciplinary epilepsy centers should be expanded to provide integrated diagnosis, treatment planning, surgical evaluation, and long-term follow-up.

Such collaborative models are particularly important for patients with drug-resistant epilepsy, autoimmune disorders, developmental epileptic encephalopathies, and complex comorbidities. Coordinated care improves treatment outcomes, reduces delays in diagnosis, and enhances quality of life.

Given the increasing evidence demonstrating the contribution of immune mechanisms to epilepsy, further investigation of neuroimmune interactions is strongly recommended. Research should focus on identifying new neuronal antibodies, inflammatory pathways, immune cell populations, and molecular signatures associated with immune-mediated epileptogenesis. Improved diagnostic tools for antibody-negative autoimmune epilepsy are particularly important because many patients with inflammatory mechanisms may remain unidentified using current testing methods.

Future therapeutic research should emphasize the discovery of interventions capable of preventing or modifying epileptogenesis rather than only suppressing seizures. Potential targets include inflammatory pathways, mitochondrial dysfunction, oxidative stress, abnormal synaptic remodeling, genetic abnormalities, and epigenetic alterations. Clinical trials should increasingly evaluate therapies based on biological mechanisms rather than traditional epilepsy classifications alone.

The selection of antiseizure medications should increasingly incorporate pharmacogenomic information, biomarker data, and individual patient characteristics. Personalized medication strategies may improve seizure control while reducing adverse drug reactions. Greater attention should be given to minimizing cognitive impairment, psychiatric complications, metabolic effects, reproductive risks, and long-term systemic complications associated with antiseizure therapy.

Healthcare systems should promote wider availability of pharmacogenomic testing, particularly for patients at increased risk of severe medication-related complications. Genetic screening for drug hypersensitivity reactions and metabolic variations should become an important component of individualized treatment planning. Expansion of international genetic databases will improve interpretation of variants across diverse populations and enhance the effectiveness of precision therapies.

Further development of artificial intelligence applications in epilepsy should be encouraged to improve diagnostic accuracy, seizure prediction, treatment optimization, and long-term monitoring. Artificial intelligence-supported analysis of electroencephalography, neuroimaging, genomic information, and clinical records may provide valuable decision-support tools for healthcare professionals. Future digital health systems should incorporate wearable technologies and remote monitoring platforms to improve continuous disease

management.

Comprehensive epilepsy management should involve coordinated collaboration among neurologists, neurosurgeons, genetic specialists, immunologists, radiologists, psychiatrists, psychologists, rehabilitation professionals, and primary healthcare providers. Expansion of specialized epilepsy centers and multidisciplinary care networks should be encouraged to improve access to advanced diagnostic evaluation, epilepsy surgery assessment, and individualized treatment planning.

Patients with drug-resistant epilepsy should receive early referral to specialized epilepsy centers for comprehensive evaluation. Treatment strategies should include assessment for epilepsy surgery, neuromodulation therapies, dietary interventions, genetic evaluation, immunological testing, and participation in clinical trials. Delayed referral may reduce opportunities for effective interventions and negatively influence long-term neurological outcomes.

Special attention should be directed toward developmental epileptic encephalopathies and childhood-onset epilepsies because early disease mechanisms strongly influence lifelong neurological outcomes. Research should focus on genetic diagnosis, neurodevelopmental pathways, early intervention strategies, and therapies capable of improving both seizure control and cognitive development.

International healthcare systems should prioritize reducing inequalities in epilepsy diagnosis and treatment. Efforts should include improving availability of essential antiseizure medications, expanding neurological education, increasing access to diagnostic technologies, strengthening telemedicine programs, and developing regional epilepsy services. Global initiatives should address both medical treatment gaps and social stigma associated with epilepsy.

Patients and families should receive comprehensive education regarding epilepsy mechanisms, treatment options, medication adherence, lifestyle considerations, seizure safety, and prognosis. Shared decision-making should become a central component of epilepsy management because individualized care requires consideration of patient preferences, social circumstances, occupational needs, and quality-of-life goals.

The progress in epilepsy research will depend on large-scale collaborative studies combining clinical, genetic, molecular, imaging, and environmental data. International research networks should establish standardized databases and biobanks to accelerate discovery of biomarkers, therapeutic targets, and predictive models. Inclusion of diverse populations is essential to ensure that future treatments are effective and accessible worldwide. The future of epilepsy management should focus on transforming care from reactive seizure control toward proactive disease prediction, prevention, and personalized intervention. Integration of advanced biological sciences with clinical medicine provides an opportunity to develop therapies that address the fundamental causes of epilepsy rather than only its manifestations. Continued investment in research, innovation, healthcare accessibility, and multidisciplinary collaboration will be essential for achieving improved outcomes and reducing the global burden of epilepsy.

CONCLUSION

- Epilepsy represents a highly heterogeneous neurological disorder in which recurrent seizures arise from complex interactions among genetic susceptibility, neuronal excitability, synaptic dysfunction, glial activity, neuroinflammation, immune regulation, metabolic disturbances, and pathological remodeling of neuronal networks. Contemporary scientific evidence increasingly demonstrates that epilepsy cannot be adequately understood as a disorder of neuronal hyperexcitability alone. Rather, epileptogenesis involves interconnected molecular, cellular, immunological, electrophysiological, and systemic processes that influence disease

initiation, progression, treatment response, and long-term neurological outcomes. This multidimensional understanding provides an important foundation for developing more accurate diagnostic approaches and more individualized therapeutic strategies.

- Neuroimmunological mechanisms have emerged as particularly important components of epileptic pathophysiology. Activation of microglia and astrocytes, disruption of the blood–brain barrier, altered cytokine signaling, complement activation, and interactions between innate and adaptive immune pathways may contribute to neuronal dysfunction and seizure generation. These observations have expanded the conceptual framework of epilepsy and created opportunities for identifying inflammatory and immunological biomarkers as potential diagnostic, prognostic, and therapeutic targets. Nevertheless, the relationship between inflammation and epileptogenesis remains complex, and further translational research is required to distinguish causal mechanisms from secondary inflammatory responses.
- Diagnostic management continues to require careful integration of clinical history, seizure semiology, neurological examination, electroencephalography, neuroimaging, laboratory investigations, and, in selected patients, genetic and molecular testing. Advanced magnetic resonance techniques, prolonged video-electroencephalographic monitoring, genomic sequencing, computational analysis, and artificial intelligence may improve diagnostic precision and facilitate more reliable classification of epilepsy syndromes and etiologies. Accurate diagnosis is essential because inappropriate classification may result in ineffective treatment, unnecessary medication exposure, delayed recognition of drug-resistant epilepsy, and avoidable adverse outcomes.
- Antiseizure medications remain the principal treatment modality for most individuals with epilepsy. Their diverse mechanisms of action provide multiple opportunities for therapeutic intervention, including modulation of voltage-gated ion channels, enhancement of inhibitory neurotransmission, reduction of excitatory signaling, and regulation of synaptic transmission. However, treatment effectiveness is constrained by pharmacoresistance, incomplete seizure control, medication adherence challenges, pharmacokinetic variability, drug–drug interactions, and adverse effects. Consequently, therapeutic success should not be measured solely by seizure reduction but also by tolerability, cognitive and behavioral outcomes, functional status, quality of life, and long-term safety.
- Precision medicine offers an important pathway toward overcoming several limitations of conventional epilepsy management. Pharmacogenomic testing, molecular diagnostics, genetic characterization, biomarker-guided treatment selection, artificial intelligence, digital monitoring, and individualized risk prediction may enable clinicians to identify therapeutic strategies more closely aligned with the biological characteristics of individual patients. In genetically determined epilepsies, identification of specific pathogenic variants may provide clinically meaningful information regarding prognosis, treatment selection, counseling, and potential targeted therapies. Nevertheless, implementation of precision medicine requires robust validation, standardized biomarkers, accessible genomic technologies, appropriate interpretation of genetic findings, ethical safeguards, and equitable integration into healthcare systems.
- Emerging therapeutic approaches further demonstrate the rapidly evolving nature of epilepsy research. Novel antiseizure agents, rational combination therapies, immunomodulatory interventions for selected immune-mediated conditions, neuromodulation, dietary therapies, gene-based approaches, targeted molecular treatments, and potential disease-modifying strategies are expanding the therapeutic landscape. Future research should increasingly focus on preventing or modifying epileptogenesis rather than merely suppressing established seizures. Such progress will require closer collaboration among neurologists,

epileptologists, pharmacologists, neuroscientists, immunologists, geneticists, bioinformaticians, pharmacists, and other healthcare professionals.

- The epilepsy should be approached as a biologically diverse and dynamically evolving disorder requiring comprehensive, multidisciplinary, and patient-centered management. Integrating neuroimmunology, molecular neuroscience, genetics, pharmacology, advanced diagnostics, computational technologies, and precision therapeutics can facilitate a transition from generalized treatment paradigms toward individualized clinical care. Continued international research collaboration, harmonization of diagnostic and therapeutic standards, systematic pharmacovigilance, and equitable access to advanced technologies will be essential for translating scientific discoveries into meaningful clinical benefits. The future of epilepsy management therefore lies in integrating mechanistic understanding with precision diagnostics and personalized therapeutics to achieve durable seizure control, minimize treatment-related complications, improve quality of life, and ultimately advance the development of preventive and disease-modifying interventions.

RECOMMENDATIONS

- The contemporary management of epilepsy should increasingly move toward an integrated, multidisciplinary, evidence-based, and precision-oriented framework that incorporates neuroimmunological, molecular, genetic, electrophysiological, pharmacological, and psychosocial dimensions of the disease. Based on current scientific understanding, several priorities should guide future clinical practice, research, education, and health-policy development.
- Clinical assessment should incorporate detailed seizure semiology, comprehensive neurological examination, electroencephalography, appropriate neuroimaging, and laboratory investigations. Where clinically indicated, prolonged video-electroencephalographic monitoring, high-resolution magnetic resonance imaging, genetic testing, metabolic investigations, and specialized immunological assessments should be incorporated into diagnostic pathways. Particular attention should be directed toward differentiating epileptic seizures from psychogenic nonepileptic events, syncope, sleep disorders, movement disorders, and other paroxysmal conditions.
- Epilepsy should be evaluated according to its structural, genetic, infectious, metabolic, immune, or unknown origin whenever possible. Identifying the underlying etiology can improve prognostic assessment and facilitate more rational therapeutic selection. Genetic and molecular investigations should be prioritized in patients with early-onset epilepsy, developmental and epileptic encephalopathies, unexplained refractory seizures, characteristic clinical phenotypes, or suspected inherited disorders.
- Investigations into microglial activation, astrocytic dysfunction, cytokine signaling, blood–brain barrier disruption, complement pathways, and autoimmune mechanisms may contribute to improved understanding of selected epilepsy phenotypes. Immunological testing should, however, be guided by appropriate clinical indications and interpreted within the broader clinical context to minimize false-positive findings and inappropriate treatment.
- Selection of antiseizure medication should consider seizure type, epilepsy syndrome, etiology, age, comorbidities, concomitant medications, reproductive considerations, pharmacokinetic characteristics, potential interactions, and patient preferences. Treatment should follow evidence-based prescribing principles, with careful monitoring of therapeutic effectiveness and tolerability. Polypharmacy should be rational rather than empirical, and unnecessary medication duplication should be avoided.

- Clinicians and pharmacists should monitor adverse drug reactions, clinically relevant drug interactions, organ toxicity, cognitive and behavioral effects, hypersensitivity reactions, and other treatment-related complications. Therapeutic drug monitoring should be considered when clinically appropriate, particularly when pharmacokinetic variability, adherence concerns, toxicity, or drug interactions may influence treatment outcomes.
- Patients who continue to experience seizures despite appropriate trials of suitable antiseizure medications should undergo timely reassessment at specialized epilepsy centers. Comprehensive evaluation for epilepsy surgery, neurostimulation, dietary therapy, or other advanced interventions should not be unnecessarily delayed.
- Pharmacogenomics, genomic sequencing, molecular biomarkers, artificial intelligence, digital health technologies, and individualized prediction models should be further investigated and clinically validated. These approaches should be implemented only when supported by adequate evidence, analytical validity, clinical utility, ethical standards, and appropriate professional expertise.
- Future investigations should move beyond seizure suppression toward identifying biological mechanisms responsible for disease initiation, progression, and pharmacoresistance. Innovative research should investigate immune modulation, molecularly targeted therapies, gene-based interventions, neuroprotective strategies, and network-level therapeutic approaches.
- The **global equity should be incorporated into epilepsy policy and research agendas**. Access to essential antiseizure medications, diagnostic technologies, specialist neurological services, surgical evaluation, rehabilitation, and psychosocial support remains uneven worldwide. International collaboration should therefore prioritize affordable diagnostics, sustainable medication availability, professional education, standardized clinical pathways, and capacity building in resource-limited settings. Integrating these recommendations can strengthen epilepsy prevention, diagnosis, treatment safety, seizure control, and quality of life while accelerating the transition toward personalized, mechanism-based, and globally accessible epilepsy care.

References

1. Jobst BC, Cascino GD. Resective epilepsy surgery for drug-resistant focal epilepsy. *JAMA*. 2015;313(3):285-293.
2. Spencer SS. Neural networks in human epilepsy: evidence of and implications for treatment. *Epilepsia*. 2002;43(3):219-227.
3. Bartolomei F, Lagarde S, Wendling F, McGonigal A, Jirsa V, Guye M, et al. Defining epileptogenic networks: contribution of SEEG and computational modeling. *Epilepsia*. 2017;58(7):1131-1147.
4. Jiruska P, de Curtis M, Jefferys JGR, Schevon CA, Schiff SJ, Schindler K. Synchronization and epilepsy: from basic mechanisms to clinical applications. *Annu Rev Neurosci*. 2013;38:329-350.
5. Staley KJ, Dudek FE. Interictal spikes and epileptogenesis. *Epilepsy Curr*. 2006;6(6):199-202.
6. McIntosh AM, Kalnins RM, Mitchell LA, Fabinyi GC, Briellmann RS, Berkovic SF. Temporal lobectomy: long-term seizure outcome and cognitive function. *Neurology*. 2004;62(11):1773-1776.
7. Spencer DD, Gerrard JL, Zaveri HP. The roles of neuronal networks in epilepsy. *Epilepsia*. 2016;57(Suppl 1):129-136.
8. Meldrum BS. The role of glutamate in epilepsy and other CNS disorders. *Neurology*. 1994;44(11 Suppl 8):S14-S23.

9. Ben-Ari Y. Excitatory actions of GABA during development: the nature of the transition. *Nat Rev Neurosci*. 2002;3(9):728-739.
10. Olsen RW, Avoli M. GABA and epileptogenesis. *Epilepsia*. 1997;38(4):399-407.
11. Rogawski MA, Löscher W. The neurobiology of antiepileptic drugs. *Nat Rev Neurosci*. 2004;5(7):553-564.
12. Galanopoulou AS. GABA receptors and epileptogenesis. *Epilepsia*. 2008;49(Suppl 5):11-16.
13. Devinsky O, Spruill T, Thurman D, Friedman D. Recognizing and preventing epilepsy-related mortality. *Neurology*. 2016;86(8):779-786.
14. Thurman DJ, Hesdorffer DC, French JA. Sudden unexpected death in epilepsy: assessing the public health burden. *Epilepsia*. 2014;55(10):1479-1485.
15. Shorvon S, Perucca E, Engel J Jr. The Treatment of Epilepsy. 4th ed. Oxford: Wiley-Blackwell; 2016.
16. Engel J Jr, Pedley TA, editors. Epilepsy: A Comprehensive Textbook. 3rd ed. Philadelphia: Wolters Kluwer; 2013.
17. Wyllie E, Cascino GD, Gidal BE, Goodkin HP, editors. Wyllie's Treatment of Epilepsy: Principles and Practice. 7th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer; 2020.
18. Noebels JL, Avoli M, Rogawski MA, Olsen RW, Delgado-Escueta AV, editors. Jasper's Basic Mechanisms of the Epilepsies. 4th ed. New York: Oxford University Press; 2012.
19. McNamara JO. Emerging insights into the genesis of epilepsy. *Nature*. 1999;399:A15-A22.
20. Pitkänen A, Schwartzkroin PA, Moshé SL, editors. Models of Seizures and Epilepsy. 2nd ed. London: Academic Press; 2017.
21. Stafstrom CE, Carmant L. Seizures and epilepsy: an overview for neuroscientists. *Cold Spring Harb Perspect Med*. 2015;5(6):a022426.
22. Galanopoulou AS, Buckmaster PS, Staley KJ, Moshé SL. Development of animal models of epilepsy. *Epilepsia*. 2012;53(Suppl 2):1-7.
23. Vezzani A, Ravizza T, Balosso S, Aronica E. Glia and epilepsy. *Glia*. 2008;56(13):1376-1387.
24. Aronica E, Bauer S, Bozzi Y, Caleo M, Dingledine R, Gorter JA, et al. Neuroinflammation in epilepsy. *Epilepsia*. 2017;58(Suppl 3):1-11.
25. Ransohoff RM, Brown MA. Innate immunity in the central nervous system. *J Clin Invest*. 2012;122(4):1164-1171.
26. Devinsky O, Vezzani A, O'Brien TJ, Jette N, Scheffer IE, de Curtis M, et al. Epilepsy. *Nat Rev Dis Primers*. 2018;4:18024.
27. Dinkelacker V, Dietrich J, Dalmau J. Autoimmune epilepsy: clinical features and treatment. *Neurol Clin*. 2016;34(4):795-812.
28. Bien CG. Value of autoantibodies for diagnosis of autoimmune epilepsy. *Epilepsia*. 2013;54(Suppl 2):1-6.
29. Geerts A, Arts WF, Stroink H, Peeters E, Brouwer OF, Peters AC. Course and outcome of childhood epilepsy. *Epilepsia*. 2010;51(5):930-938.
30. Berg AT, Berkovic SF, Brodie MJ, Buchhalter J, Cross JH, van Emde Boas W, et al. Revised terminology and concepts for organization of seizures and epilepsies. *Epilepsia*. 2010;51(4):676-685.
31. Fisher RS, Boas WVE, Blume W, Elger C, Genton P, Lee P, et al. Epileptic seizures and epilepsy: definitions proposed by ILAE. *Epilepsia*. 2005;46(4):470-472.
32. Engel J Jr. Seizures and epilepsy. 2nd ed. Philadelphia: F.A. Davis Company; 2013.

33. Löscher W, Klitgaard H, Twyman RE, Schmidt D. New avenues for anti-epileptic drug discovery and development. *Nat Rev Drug Discov*. 2013;12(10):757-776.
34. Barker-Haliski ML, White HS. Validated animal models for antiseizure drug discovery. *Cold Spring Harb Perspect Med*. 2015;5(8):a022772.
35. Rogawski MA. Diverse mechanisms of antiepileptic drugs in epilepsy therapy. *Epilepsy Res*. 2006;69(3):273-294.
36. Löscher W. Animal models of epilepsy for the development of antiepileptogenic and disease-modifying treatments. *Epilepsy Res*. 2017;137:1-8.
37. Schmidt D, Löscher W. Drug resistance in epilepsy: mechanisms and management. *Nat Rev Neurol*. 2009;5(5):267-277.
38. Pitkänen A, Lukasiuk K. Molecular mechanisms of epileptogenesis and potential treatment targets. *Lancet Neurol*. 2011;10(2):173-186.
39. Klein P, Tyrlikova I, Mathews GC. Dietary treatment in epilepsy: current perspectives and future directions. *Epilepsy Behav*. 2014;37:205-211.
40. Neal EG, Chaffe H, Schwartz RH, Lawson MS, Edwards N, Fitzsimmons G, et al. The ketogenic diet for the treatment of childhood epilepsy. *Lancet Neurol*. 2008;7(6):500-506.
41. Kossoff EH, Turner Z, Doerrer SC, Cervenka MC, Henry-Barron BJ. The Ketogenic and Modified Atkins Diets: Treatments for Epilepsy and Other Disorders. 7th ed. New York: Springer; 2016.
42. Stafstrom CE, Rho JM. The ketogenic diet as a treatment paradigm for epilepsy. *Epilepsia*. 2012;53(Suppl 4):63-71.
43. Cervenka MC, Patton K, Eloyan A, Henry B, Kossoff EH. The impact of the ketogenic diet on quality of life in epilepsy. *Epilepsy Behav*. 2012;25(1):55-59.
44. Ochoa JG, Kilgo WA. The role of pharmacogenomics in epilepsy treatment. *Epilepsy Behav*. 2016;58:1-7.
45. McCormack M, Alfirevic A, Bourgeois S, Farrell JJ, Kasperavičiūtė D, Carrington EV, et al. HLA-A*3101 and carbamazepine-induced hypersensitivity reactions. *N Engl J Med*. 2011;364(12):1134-1143.
46. Chung WH, Hung SI, Hong HS, Hsih MS, Yang LC, Ho HC, et al. Medical genetics: a marker for severe cutaneous reactions to drugs. *Nature*. 2004;428(6982):486.
47. Phillips EJ, Mallal SA. Pharmacogenetics of drug hypersensitivity. *Pharmacogenomics*. 2010;11(7):973-987.
48. Zaccara G, Perucca E. Interactions between antiepileptic drugs and hormonal contraception. *CNS Drugs*. 2014;28(12):1041-1052.
49. Tomson T, Marson A, Boon P, Canevini MP, Covanis A, Gaily E, et al. Valproate in epilepsy: time to reconsider. *Lancet Neurol*. 2015;14(4):408-419.
50. Perucca E, Mula M. Antiepileptic drug effects on mood and behavior. *Epilepsy Behav*. 2013;26(3):440-449.
51. Mula M, Trimble MR, Sander JW. The role of hippocampal sclerosis in psychiatric comorbidity of epilepsy. *Epilepsy Behav*. 2004;5(4):503-508.
52. Kanner AM. Depression and epilepsy: a review of multiple facets of their close relation. *Neurol Clin*. 2009;27(4):865-880.
53. Mula M. The pharmacological management of psychiatric comorbidities in epilepsy. *Pharmacol Res*. 2016;107:147-153.
54. Ben-Menachem E. Medical management of epilepsy. *Epilepsia*. 2016;57(Suppl 1):3-8.
55. Glauser T, Shinnar S, Gloss D, Alldredge B, Arya R, Bainbridge J, et al. Evidence-based guideline: treatment of convulsive status epilepticus. *Epilepsy Curr*. 2016;16(1):48-61.

56. Trinka E, Cock H, Hesdorffer D, Rossetti AO, Scheffer IE, Shinnar S, et al. A definition and classification of status epilepticus. *Epilepsia*. 2015;56(10):1515-1523.
57. Fisher RS, Scharfman HE, deCurtis M. How can we identify ictal and interictal abnormal activity? *Adv Exp Med Biol*. 2014;813:3-23.
58. Sun Y, Zhao L, Shi L, Zhao H, Wang Q, Zhang Y, et al. Artificial intelligence applications in epilepsy diagnosis and management. *Epilepsy Behav*. 2021;122:108188.
59. van Diessen E, Diederen SJH, Braun KPJ, Jansen FE, Stam CJ. Functional and structural network approaches in epilepsy. *Clin Neurophysiol*. 2013;124(5):899-909.
60. Bernasconi A, Cendes F, Theodore WH, Gill RS, Koepp MJ, Hogan RE, et al. Recommendations for the use of neuroimaging in epilepsy. *Epilepsia*. 2011;52(10):1740-1750.
61. Löscher W, Schmidt D. Modern antiepileptic drug development: challenges and opportunities. *Epilepsia*. 2011;52(4):657-678.
62. Perucca E, Shorvon SD. Drug treatment of epilepsy in adults. *Lancet*. 2020;395(10225):689-701.
63. Fisher RS, Cross JH, French JA, Higurashi N, Hirsch E, Jansen FE, et al. Operational classification of seizure types by the International League Against Epilepsy: position paper of the ILAE Commission for Classification and Terminology. *Epilepsia*. 2017;58(4):522-530.
64. Scheffer IE, Berkovic S, Capovilla G, Connolly MB, French J, Guilhoto L, et al. ILAE classification of the epilepsies: position paper of the International League Against Epilepsy Commission for Classification and Terminology. *Epilepsia*. 2017;58(4):512-521.
65. Thijs RD, Surges R, O'Brien TJ, Sander JW. Epilepsy in adults. *Lancet*. 2019;393(10172):689-701.
66. Devinsky O, Vezzani A, O'Brien TJ, Jette N, Scheffer IE, de Curtis M, et al. Epilepsy. *Nat Rev Dis Primers*. 2018;4:18024.
67. Beghi E. The epidemiology of epilepsy. *Neuroepidemiology*. 2020;54(2):185-191.
68. GBD 2016 Epilepsy Collaborators. Global, regional, and national burden of epilepsy, 1990–2016. *Lancet Neurol*. 2019;18(4):357-375.
69. Kwan P, Schachter SC, Brodie MJ. Drug-resistant epilepsy. *N Engl J Med*. 2011;365(10):919-926.
70. Löscher W, Schmidt D. Modern antiepileptic drug development has failed to deliver: ways out of the current dilemma. *Epilepsia*. 2011;52(4):657-678.
71. Perucca E. Pharmacological and therapeutic properties of valproate. *CNS Drugs*. 2002;16(10):695-714.
72. Perucca E. Antiepileptic drugs: evolution of therapeutic strategies. *Epileptic Disord*. 2019;21(4):319-329.
73. Brodie MJ, Barry SJ, Bamagous GA, Norrie JD, Kwan P. Patterns of treatment response in newly diagnosed epilepsy. *Neurology*. 2012;78(20):1548-1554.
74. Chen Z, Brodie MJ, Liew D, Kwan P. Treatment outcomes in patients with newly diagnosed epilepsy treated with established and new antiepileptic drugs. *JAMA Neurol*. 2018;75(3):279-286.
75. Löscher W, Potschka H. Drug resistance in epilepsy: clinical impact, potential mechanisms, and new innovative treatment options. *Pharmacol Rev*. 2005;57(4):411-450.
76. Rogawski MA, Löscher W, Rho JM. Mechanisms of action of antiseizure drugs and the ketogenic diet. *Cold Spring Harb Perspect Med*. 2016;6(5):a022780.
77. Perucca E, Gilliam FG. Adverse effects of antiepileptic drugs. *Lancet Neurol*. 2012;11(9):792-802.
78. Patsalos PN. Drug interactions with the newer antiepileptic drugs. *Clin Pharmacokinet*. 2013;52(5):345-356.

79. Johannessen SI, Landmark CJ. Antiepileptic drug interactions: pharmacokinetic and pharmacodynamic considerations. *Epilepsia*. 2010;51(2):253-257.
80. Patsalos PN, Berry DJ, Bourgeois BFD, Cloyd JC, Glauser TA, Johannessen SI, et al. Antiepileptic drugs: best practice guidelines for therapeutic drug monitoring. *Epileptic Disord*. 2008;10(2):99-125.
81. Perucca P, Gilliam FG. The management of epilepsy in women. *Lancet Neurol*. 2012;11(10):892-902.
82. Tomson T, Battino D, Perucca E. Valproic acid after five decades of use in epilepsy: time to reconsider the indications of a time-honoured drug. *Lancet Neurol*. 2016;15(2):210-218.
83. Harden CL, Meader KJ, Pennell PB. Management issues for women with epilepsy. *Neurology*. 2009;73(23 Suppl 2):S15-S18.
84. Vezzani A, French J, Bartfai T, Baram TZ. The role of inflammation in epilepsy. *Nat Rev Neurol*. 2011;7(1):31-40.
85. Vezzani A, Friedman A. Brain inflammation as a biomarker in epilepsy. *Biochem Soc Trans*. 2011;39(5):1311-1315.
86. Devinsky O, Schein AI, Najjar S. Epilepsy associated with systemic autoimmune disorders. *Epilepsy Curr*. 2013;13(2):62-68.
87. Bien CG, Scheffer IE. Autoantibodies and epilepsy. *Epilepsia*. 2011;52(Suppl 3):18-22.
88. Graus F, Titulaer MJ, Balu R, Benseler S, Bien CG, Cellucci T, et al. A clinical approach to diagnosis of autoimmune encephalitis. *Lancet Neurol*. 2016;15(4):391-404.
89. Dalmau J, Lancaster E, Martinez-Hernandez E, Rosenfeld MR, Balice-Gordon R. Clinical experience and laboratory investigations in patients with anti-NMDAR encephalitis. *Lancet Neurol*. 2011;10(1):63-74.
90. Irani SR, Alexander S, Waters P, Kleopa KA, Pettingill P, Zuliani L, et al. Antibodies to Kv1 potassium channel-complex proteins. *Brain*. 2010;133(9):2734-2748.
91. Bien CG, Vincent A, Barnett MH, Becker AJ, Blümcke I, Graus F, et al. Immunopathology of autoimmune epilepsy. *Brain Pathol*. 2012;22(3):349-359.
92. Geis C, Planagumà J, Carreno M, Graus F, Dalmau J. Autoimmune seizures and epilepsy. *Epilepsia*. 2019;60(11):e91-e97.
93. Barker-Haliski M, Galanopoulou AS. Epilepsy and epileptic syndromes: mechanisms and therapies. *Cold Spring Harb Perspect Med*. 2020;10(6):a038174.
94. Galanopoulou AS, Buckmaster PS, Staley KJ, Moshé SL. Development of drug-resistant epilepsy: molecular mechanisms. *Epilepsia*. 2012;53(Suppl 2):1-10.
95. Pitkänen A, Lukasiuk K. Molecular and cellular basis of epileptogenesis in acquired epilepsy. *Cold Spring Harb Perspect Med*. 2012;2(10):a011831.
96. Goldberg EM, Coulter DA. Mechanisms of epileptic network remodeling. *Cold Spring Harb Perspect Med*. 2013;3(12):a012021.
97. McNamara JO. Cellular and molecular basis of epilepsy. *J Neurosci*. 1994;14(6):3413-3425.
98. Noebels JL. Single-gene determinants of epilepsy phenotypes in mice. *Annu Rev Neurosci*. 2003;26:599-625.
99. Zuberi SM, Brunklaus A. Epilepsy genetics: where are we and where are we going? *Epileptic Disord*. 2011;13(2):105-114.
100. Perucca E. Genetics of epilepsy. *Lancet Neurol*. 2018;17(1):1-2.
101. Helbig I, Heinzen EL, Mefford HC. Genetic causes of epilepsy. *Epilepsia*. 2016;57(3):354-363.

102. Epi25 Collaborative. Ultra-rare genetic variation in epilepsy. *Nat Neurosci*. 2019;22(12):2016-2024.
103. Mulley JC, Scheffer IE, Petrou S, Dibbens LM, Berkovic SF, Harkin LA. Channelopathies as a genetic cause of epilepsy. *Curr Opin Neurol*. 2003;16(2):171-176.
104. Møller RS, Dahl HA, Helbig I. The contribution of sodium channels to epilepsy. *Mol Syndromol*. 2016;7(4):217-224.
105. Catterall WA. Voltage-gated sodium channels at the center of epilepsy. *Nat Rev Neurosci*. 2012;13(5):337-348.
106. Noebels JL. The biology of epilepsy genes. *Annu Rev Neurosci*. 2003;26:599-625.
107. Staley K. Molecular mechanisms of epilepsy. *Nat Neurosci*. 2015;18(3):367-372.
108. Rogawski MA. Molecular targets versus seizure types: the future of antiepileptic drug development. *Epilepsy Res*. 2006;68(1):22-28.
109. Löscher W. Critical review of current animal models of seizures and epilepsy. *Epilepsy Behav*. 2017;26(4):252-259.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

CIRCULATING EXOSOMAL MIRNAS AS BIOMARKERS FOR SUBCLINICAL INFLAMMATION SERONEGATIVE RHEUMATOID ARTHRITIS

Muhammad Amar Gul
Department of Biochemistry and Biotechnology, University of Gujrat, Gujrat, Pakistan.
ORCID NO: 0009-0003-1355-0757

ABSTRACT

Background: Seronegative rheumatoid arthritis (RA) lacks conventional autoantibodies, making early diagnosis and inflammation monitoring challenging. Exosomal microRNAs (miRNAs) have emerged as promising biomarkers due to their stability and role in immune regulation.

Objective: To investigate the expression profiles of circulating exosomal miRNAs in seronegative RA patients and identify molecular signatures associated with subclinical inflammation.

Methods: This cross-sectional study was conducted over eight months in Lahore, Pakistan. Ninety-six patients with seronegative RA were enrolled based on 2010 ACR/EULAR criteria. Plasma-derived exosomes were isolated and validated using nanoparticle tracking analysis and Western blotting. miRNAs (miR-146a, miR-155, miR-21, miR-223, miR-125b) were quantified using qRT PCR. Subclinical inflammation was assessed through high-resolution musculoskeletal ultrasound and biochemical markers (CRP, ESR). Statistical analyses included t-tests, ANOVA, and Pearson correlations ($p < 0.05$ considered significant).

Results: miR-155 (3.16 ± 1.04), miR-223 (2.72 ± 0.88), and miR-146a (2.41 ± 0.92) showed significantly elevated expression levels. Strong positive correlations were observed between miRNA levels and PD ultrasound scores (miR-155: $r = 0.63$, $p < 0.001$; miR-223: $r = 0.59$, $p < 0.001$). CRP-stratified analysis revealed significantly higher miRNA expression in patients with elevated CRP (>5 mg/L).

Conclusion: Circulating exosomal miRNAs, particularly miR-155, miR-223, and miR-146a, may serve as sensitive biomarkers for detecting subclinical inflammation in seronegative RA. These findings support their potential utility in enhancing early diagnosis and personalized disease monitoring.

Keywords: Biomarkers, Exosomes, Inflammation, MicroRNAs, Musculoskeletal Ultrasound, Rheumatoid Arthritis, Seronegative RA.

SCREENING OF OPERATING PARAMETERS AFFECTING CADMIUM REMOVAL FROM CONCENTRATED PHOSPHORIC ACID BY CO-CRYSTALLIZATION WITH PHOSPHOGYPSUM

Taoufiq MAHLOUB
Khaoula KHALESS
College of Chemical Sciences and Engineering (CCSE), Department of Chemical and Biochemical Sciences – Green Process Engineering (CBS-GPE), Mohammed VI Polytechnic University (UM6P), Benguerir 43150, Morocco
ORCID: 0009-0007-2062-2551

ABSTRACT
Cadmium is an undesirable impurity in wet-process phosphoric acid. Originating from phosphate rock, it can be transferred to phosphoric acid and subsequently to phosphate fertilizers. Among the available purification technologies, co-crystallization with phosphogypsum represents a promising approach for cadmium removal. This process is based on the incorporation of Cd^{2+} ions into the calcium sulfate crystalline phase through the substitution of Ca^{2+} ions during crystallization. The objective of this study was to screen the operating parameters affecting cadmium removal from concentrated phosphoric acid by co-crystallization with phosphogypsum. A two-level experimental screening design was used to investigate seven factors: temperature, sulfate content, solids content, P_2O_5 concentration, residence time, initial cadmium concentration, and stirring speed. Cadmium removal efficiency, used as the experimental response, ranged from 8.8% to 74.1%, with a mean value of 39.85%. Analysis of the estimated model coefficients showed that sulfate content exhibited the largest positive coefficient (+14.075), followed by temperature (+8.525), P_2O_5 concentration (+7.850), and solids content (+6.175). Pareto analysis ranked these four parameters as the leading factors, with contributions of 45.95%, 16.86%, 14.29%, and 8.84%, respectively, accounting for approximately 85.95% of the cumulative contribution. Residence time showed a smaller positive coefficient (+3.875), whereas initial cadmium concentration (-4.050) and stirring speed (-5.400) exhibited negative coefficients within the investigated ranges. Overall, the screening identified four key operating parameters for further investigation of the cadmium removal process.

Keywords: Cadmium; Phosphoric acid; Phosphogypsum; Co-crystallization; Screening design.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

BEYOND THE HOSPITAL: EXPOSING THE MISSING ARCHITECTURAL VOICE IN HEALTHCARE FACILITY REGULATIONS OF KHYBER PAKHTUNKHWA, PAKISTAN

Ar. Rida Zahra
PhD Scholar, Dept. of Architecture, School of Architecture & Planning, UMT Lahore. (Primary Author)
Prof. Dr. Fariha Tariq
Dean School of Architecture & Planning, UMT Lahore. (Co-Author)
Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti
Associate Professor & CoD, Dept of Architecture, School of Architecture & Planning, UMT Lahore(Corresponding Author)
Dr. Ali Arsal
DMS Tertiary Care Hospital Nishtar II, Multan. (Co-Author)
Prof. Dr. M. Asad Ghufran
Professor, Department of Environmental Science, IIUI, Islamabad. (Co-Author)

ABSTRACT

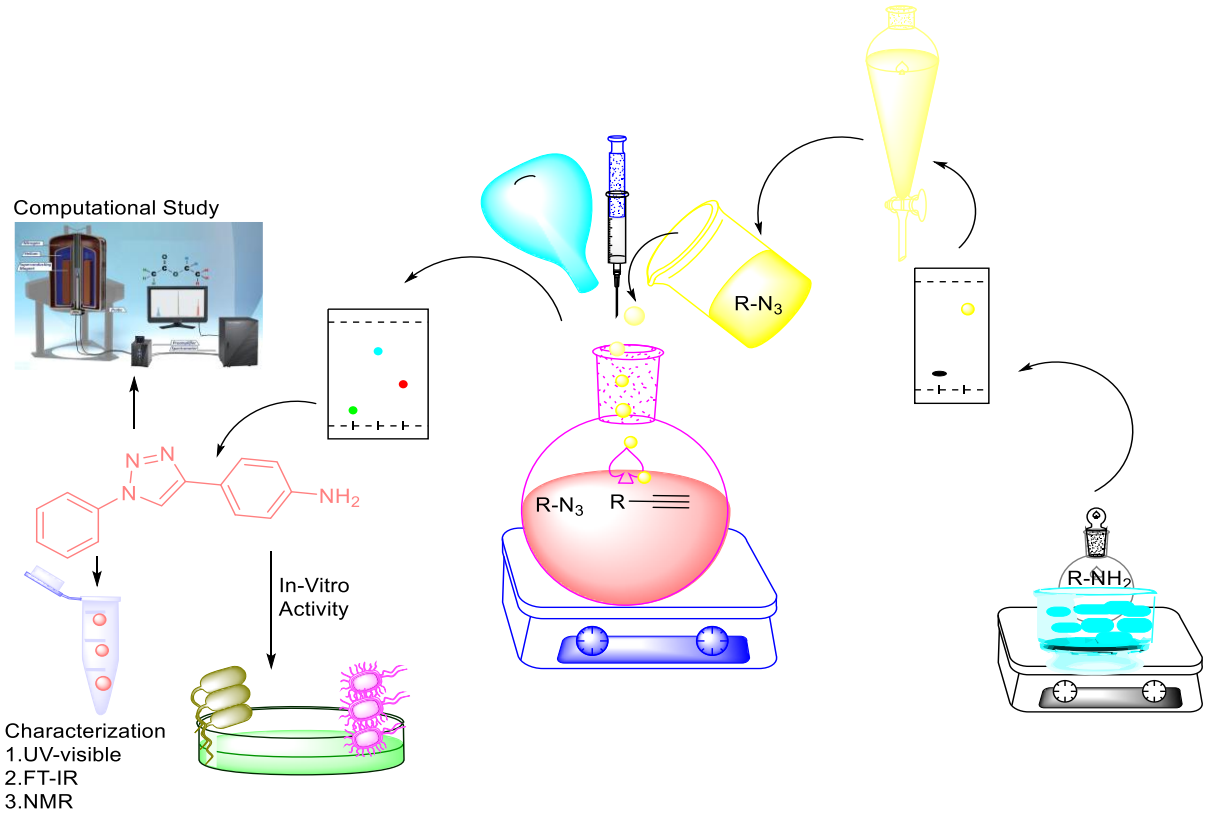
Introduction: Healthcare facilities are not merely clinical environments; they are carefully constructed spaces where architecture influences infection control, patient safety, accessibility, dignity, healing, staff efficiency, and resilience. Yet, the role of architecture and architects in healthcare regulation remains remarkably under examined in Pakistan. **Objective**: This study critically investigates the extent to which architecture, architects, and built-environment considerations are recognized within healthcare regulatory documents issued by the Khyber Pakhtunkhwa Healthcare Commission (KP-HCC). **Methodology**: A keyword-based content analysis was conducted on 13 selected KP-HCC regulatory and Minimum Service Delivery Standards documents covering hospitals, clinics, laboratories, diagnostic centers, and other healthcare establishments. Eleven keywords associated with healthcare architecture and facility design were extracted and systematically quantified to identify the prominence or absence of architectural considerations. **Analysis**: The findings expose a striking regulatory imbalance. Across 13 documents, the term architecture does not appear even once, while architect appears only 28 times. In contrast, hospital occurs 2,203 times and design 248 times. More significantly, evidence-based design, design strategies, built environment, and buildings receive no explicit recognition as independent concepts. This suggests that although physical spaces are repeatedly referenced, the professional and evidence-based architectural processes required to shape safe, functional, resilient, and human centered healthcare environments remain largely invisible within the regulatory framework. **Conclusion**: The findings raise a fundamental question: Can healthcare facilities be effectively regulated when the discipline responsible for shaping their physical environment is barely represented? The study calls for a paradigm shift in Pakistan's healthcare regulation, positioning architects and evidence-based architectural design as essential not peripheral components of healthcare quality, safety, and preparedness.

Key Words:
Healthcare Architecture; Architect; Healthcare Facilities; Built Environment; Evidence-Based Design.

RATIONAL DESIGN, GREEN SYNTHESIS, AND INTEGRATED COMPUTATIONAL–EXPERIMENTAL EVALUATION OF NOVEL 1,2,3-TRIAZOLE-BASED HYBRID MOLECULES AGAINST DRUG-RESISTANT MICROBIAL PATHOGENS

Ummy Rubab
Muhammad Ibrahim
Irfa sakandar
Department of Applied Chemistry, Government College University Faisalabad, Faisalabad-38000, Pakistan

Abstract
The triazole structure is a crucial and widely endorsed heterocycle, frequently pioneer in numerous natural compounds and therapeutic agents. The extensive and powerful effects of triazoles and their derivatives have positioned them as eloquent pharmacological frameworks. The primary heterocyclic rings found in different medicinal compounds are 1,2,4-triazoles. In this study, we developed a series of efficaciously substituted triazoles commencing from modified anilines and alkynes, highlighting the importance of structural alterations to ameliorate biological effectiveness such as 2-(1-(3-bromophenyl)-1H-1,2,3-triazole-4-yl) propan-2-ol,2-(1-(3-chloro-4-fluorophenyl)-1H-1,2,3-triazole-4-yl) propan-2-ol and 2-(1-(4-fluorophenyl)-1H-1,2,3-triazole-4-yl) propan-2-ol triazoles. Characterization through NMR spectroscopy verified their molecular architecture, highlighting the effectiveness of spectroscopic methods in elucidate these biologically active compounds. The triazole nucleus is a core structural component in a wide range of drug categories, including antimicrobial, anti-inflammatory, antiviral, antihypertensive, antimalarial, antianxiety, antidepressant, antioxidant, antitubercular, anti-Parkinson's, antidiabetic, antiobesity, and immunomodulatory agents.


Computational Study
R-N3
R-N3
R
R-NH2
NH2
In-Vitro
Activity
Characterization
1.UV-visible
2.FT-IR
3.NMR

ISARC
INTERNATIONAL 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

PRODUCTION AND CHARACTERIZATION OF CARBON NANOTUBES FROM BIOCHAR UNDER MICROWAVE IRRADIATION

Faisal Nazir
Department Of Physics, Faculty Of Sciences,The University Of Agriculture, Faisalabad, Pakistan 2023

ABSTRACT

Carbon nanotubes (CNTs) are widely used in a variety of fields to produce a diversity of products, including hydrogen storage systems, and field emitters. In the proposed study, CNTs synthesized via biochar under the microwave irradiation method. In this method, the combination of charcoal and ferrocene are used to synthesize CNTs from the biochar approach. Biochar samples for CNTs synthesis are made from pyrolyzed agro-industrial waste such as rapeseed cake, hazelnut hulls, wheat straw, and oat hulls at different temperatures. The biochar was produced from agro-industrial biomass. During experiments, 100g of biomass was placed in a microwave reactor. The samples were pyrolyzed at 400 °C to 600°C. SEM analysis was used to confirm the morphology of CNTs. SEM micrographs revealed the perfect structure of multiwall carbon nanotubes, while interlayers spacing was changed due to variation of catalysts and measured about 0.34nm. Further, the optical properties were examined by UV-visible spectroscopy. In the UV, one band is clear at 240 nm region due to resonance of nanotubes pi(π) electrons of carbon nanotubes. XRD was used to analyze the glassy structure of prepared CNTs under microwave revealed that the creation and growth of CNTs were mostly influenced by microwave irradiation and the ferrocene catalyst. The structure of CNTs was developed under microwave heating and in the presence of ferrocene catalyst. To research how nitrogen impurities adhere to CNTs, FTIR experiments were conducted in the 400–4000 cm^{-1} range. The sample's FTIR spectra exhibit prominent peaks that correspond to C-H and C=C, respectively.

FABRICATION OF GRAPHITIC CARBON NITRIDE-DECORATED $BAAL_2O_4$ NANOCOMPOSITE FOR HIGH-PERFORMANCE ASYMMETRIC SUPERCAPACITOR

Muhammad Rizwan
Department of Physics, Government Graduate College Jampur, 33000, Pakistan
Sahar G. Tawfik
Department of Physics, College of Science, Princess Nourah bint Abdulrahman University, Riyadh, P.O. Box 84428, 11671, Saudi Arabia
Ali El-Rayyes
Center for Scientific Research and Entrepreneurship, Northern Border University, 73213, Arar, Saudi Arabia
Lamia Abu El Maati
Department of Physics, College of Science, Princess Nourah bint Abdulrahman University, Riyadh, P.O. Box 84428, 11671, Saudi Arabia
Hussain Sawwan
Department of Chemical Engineering, College of Engineering, King Khalid University, Abha, 61411, Saudi Arabia
Eman Alzahrani
Department of Chemistry, College of Science, Taif University, PO Box 11099, Taif 21944, Saudi Arabia.
Hala M. Abo-Dief
Department of Science and Technology, University College-Ranyah, Taif University, P.O. Box 11099 21944 Taif, Saudi Arabia
Reda A. Haggam
Department of Chemistry, Faculty of Science, Islamic University of Madinah, Madinah, 42351, Saudi Arabia.

Abstract

One common approach for addressing the escalating need for higher-energy-density supercapacitors is the advancement of asymmetric supercapacitors (ASC_s). This work introduces a hydrothermally produced barium aluminate ($BaAl_2O_4$) and $BaAl_2O_4$/gCN (graphitic carbon nitride) nanocomposite for ASC_s. The $BaAl_2O_4$/gCN nanocomposite-based supercapacitors exhibit favourable electrochemical characteristics with a specific capacitance (C_s) of 640 F/g at 1 A/g, notably exceeding the C_s of pristine $BaAl_2O_4$, 287 F/g. Furthermore, ASC was fabricated using $BaAl_2O_4$/gCN and AC (activated carbon) as the negative electrode. The electrochemical properties of $BaAl_2O_4$/gCN//AC demonstrate optimal activity, attaining a C_s of 127.3 F/g, along with energy density (E_d) of 43.6 Wh/kg as well as a power density (P_d) of 785 W/kg. The presence of gCN in the $BaAl_2O_4$ structure significantly improved the composite system's conductivity and overall efficiency owing to the substantial interfacial area of gCN, which promotes rapid reaction kinetics. These findings demonstrate the promising future of the prepared composite in future energy storage systems.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

FUZZY UNCERTAINTY PROPAGATION AND FINITE-TIME TANGENT DYNAMICS IN A ψ-CAPUTO LORENZ SYSTEM

MOHAMED OUALD-MOUNTI
Sultan Moulay Slimane University, Faculty of Sciences and Techniques, Department of Mathematics, Mghila, Beni Mellal 23000, Morocco
ORCID: https://orcid.org/0009-0007-7138-6763
Aziz EL GHAZOUANI
Sultan Moulay Slimane University, Faculty of Sciences and Techniques, Department of Mathematics, Mghila, Beni Mellal 23000, Morocco
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3380-2977
Hamid SADIKI
Sultan Moulay Slimane University, Faculty of Sciences and Techniques, Department of Mathematics, Mghila, Beni Mellal 23000, Morocco
ORCID: https://orcid.org/0009-0009-9900-8486

Abstract

This paper investigates uncertainty propagation and certified chaotic behavior in a fuzzy fractional Lorenz system governed by the ψ-Caputo derivative. The fuzzy model is transformed into a family of coupled endpoint systems through its level-set representation. Sufficient conditions for the local existence and uniqueness of solutions are established on an invariant bounded set. A numerical scheme preserving endpoint ordering and level-set nesting is developed. To distinguish genuine chaotic dynamics from transient oscillations, a fuzzy maximal Lyapunov exponent is introduced and used to classify robust, uncertain, and non-chaotic regimes. Numerical experiments demonstrate how the fractional order, the memory function, and the initial fuzzy width influence the transition to chaos and the amplification of uncertainty.

Keywords

Fuzzy fractional Lorenz system; ψ-Caputo fractional derivative; chaotic dynamics; fuzzy Lyapunov exponent; uncertainty propagation; level-set representation; numerical approximation.

TOWARDS ESTABLISHING A NATURAL HISTORY MUSEUM IN WADI ZARQA

Mohammed Waheeb
The Hashemite University, Department of Sustainable Tourism, Queen Rania Faculty of Archaeology, Heritage, & Tourism.
Amal Kamal Kanani
Research Assistant in International Relations of Cultural Heritage – Amman, Jordan
Amani Kamal Kanani
The Hashemite University – Queen Rania Faculty for Archaeology and Heritage Researcher,
Faisal Hussein
The Hashemite University – Queen Rania Faculty for Archaeology and Heritage Researcher,

Abstract
This proposal outlines the foundational vision for establishing a Natural History Museum in Wadi Zarqa. Recognized as a critical ecological corridor and a historical basin in Jordan, Wadi Zarqa possesses unique biodiversity and rich geological heritage that face mounting environmental pressures. The proposed museum aims to serve as an educational, research, and ecotourism hub. By integrating field documentation, interactive exhibits, and community engagement, the institution will preserve the region's natural history, promote biodiversity conservation, and foster sustainable development within the Zarqa River basin.

1. Ecological and Historical Significance of Wadi Zarqa

- **Biodiversity:** Wadi Zarqa serves as one of the most vital natural corridors for flora and fauna in Jordan, linking the mountainous highlands with semi-arid regions and providing a fertile habitat for numerous resident and migratory birds.
- **Geological and Hydrological Heritage:** The basin features rock formations and fossils dating back to ancient geological eras, alongside its status as a historical water artery that has supported human settlement since the Stone Age.

2. Objectives of Establishing the Museum

- **Documentation and Conservation:** Documenting flora, fauna, and geological specimens specific to the valley, and preserving them within a scientific database.
- **Environmental Awareness and Education:** Offering educational and exploratory programs for school and university students on the importance of environmental protection and basin rehabilitation.
- **Supporting Scientific Research:** Providing an analytical center and field laboratories for researchers in biodiversity, geology, and water resource management.
- **Sustainable Development:** Boosting ecotourism in the Zarqa Governorate and surrounding areas, thereby generating new employment opportunities for the local community.

3. Key Components of the Museum

- **Fossil and Geology Exhibit:** Showcasing the historical and rock formation development of the valley basin alongside discovered fossils.
- **Biodiversity Wing:** Interactive displays highlighting indigenous plants, birds, and wildlife inhabiting the valley ecosystem.
- **Field Laboratory and Research Space:** Dedicated areas for monitoring water quality, tracking wildlife, and conducting environmental studies.
- **Outdoor Eco-Trail:** A sustainable walking trail originating from the museum building to enable visitors to observe nature directly.

Conclusion

In conclusion, establishing a Natural History Museum in Wadi Zarqa is a vital step toward reconciling environmental conservation with sustainable regional development. Beyond serving as a repository for the valley's geological and biological assets, the museum will function as an active platform for ecological restoration and public awareness. Implementing this project will transform Wadi Zarqa from a vulnerable ecosystem into a landmark of educational tourism and environmental stewardship in Jordan.

GINGER-DERIVED EXOSOME-LIKE NANOPARTICLES AS ORAL DELIVERY VEHICLES FOR CURCUMIN IN INFLAMMATORY BOWEL DISEASE: A "FOOD-TO-MEDICINE" NANOTHERAPEUTIC APPROACH

Dr.R.Devi
ORCID ID:0000-0002-6554-6771
Professor, Department of Pharmaceutics,
Faculty of Pharmacy, Bharath Institute of Higher Education and Research, Selaiyur, Chennai, Tamil Nadu,India

Abstract Background: Inflammatory Bowel Disease (IBD) is a relapsing chronic disorder with inadequate oral therapies due to poor targeting and systemic toxicity. Curcumin is promising but has <1% oral bioavailability.
Purpose: To develop and evaluate ginger-derived exosome-like nanoparticles (GELNs) as a natural, scalable oral nanocarrier for targeted curcumin delivery in IBD.
Methods: GELNs were isolated by differential ultracentrifugation. Curcumin was loaded via sonication. Characterization included DLS, TEM, HPLC. Gastric stability and release were tested. Therapeutic efficacy was assessed in DSS-induced colitis mice with DAI, histology, cytokines, and microbiome analysis.
Results: Curcumin-GELNs: 210.4 ± 12.3 nm, PDI 0.21, EE 87.3%. They showed <10% release at pH 1.2 and 72% release at pH 6.8. Oral delivery led to 6.3-fold higher colonic curcumin. Curcumin-GELNs reduced DAI by 62%, restored colon length, downregulated TNF-α/IL-6/IL-1β by 55-70%, repaired tight junctions, and reshaped microbiota. No systemic toxicity observed.
Conclusion: GELNs offer a safe, dual-action, food-grade platform for oral IBD therapy by combining targeted delivery with intrinsic anti-inflammatory effects.
Keywords: Ginger exosomes; Plant-derived nanoparticles; Curcumin; Inflammatory Bowel Disease; Oral delivery; Microbiome

1. Introduction

Inflammatory Bowel Disease, comprising Ulcerative Colitis and Crohn's Disease, affects >7 million individuals worldwide with rising incidence in Asia. Pathogenesis involves dysregulated immune response, oxidative stress, epithelial barrier dysfunction, and gut dysbiosis.Current first-line therapies include 5-ASA, corticosteroids, and biologics like anti-TNFα antibodies. However, these suffer from systemic side effects, loss of response, high cost >$30,000/year, and inability to achieve mucosal healing.Curcumin, a diferuloylmethane from Curcuma longa, exhibits anti-inflammatory, antioxidant, and microbiome-modulating properties via NF-κB and NLRP3 inhibition. Clinical trials showed benefit in UC, but oral bioavailability is <1% due to poor solubility, rapid metabolism, and acid degradation.Nanotechnology can address this. However, synthetic polymeric NPs like PLGA face challenges: toxicity, non-biodegradability, expensive GMP manufacturing, and lack of targeting.Plant-derived exosome-like nanoparticles (PDENs) have emerged as an alternative. PDENs are 50-500 nm lipid bilayer vesicles secreted by plant cells. They are stable, biocompatible, and can be mass-produced from edible plants.Ginger Zingiber officinale derived exosome-like nanoparticles (GELNs) are particularly attractive. They are enriched in phosphatidic acid (PA), phosphatidylethanolamine, 6-gingerol, and miR-396. PA mediates binding to TLR4 on macrophages, enabling targeting to inflamed gut. GELNs survive pH 2.0

and are taken up by intestinal epithelial cells and macrophages. Importantly, GELNs themselves inhibit NLRP3 and promote Lactobacillus growth.We hypothesize that GELNs can serve as a "carrier + drug" system for oral curcumin delivery in IBD, achieving targeted mucosal healing with minimal systemic exposure.

2. Materials and Methods

2.1 Materials

Fresh ginger, curcumin >95%, DSS, ELISA kits, antibodies. C57BL/6 mice 6-8 weeks.

2.2 Isolation and Purification of GELNs

Ginger was washed, juiced, and filtered. Sequential centrifugation: 1000g 10min, 3000g 20min, 10000g 40min. Supernatant ultracentrifuged 150,000g 90min. Pellet washed in PBS and re-ultracentrifuged.

2.3 Curcumin Loading

Curcumin: GELN 1:10 w/w in PBS. Probe sonication: 20% amplitude, 6 cycles, 2s on/2s off on ice. Free curcumin removed by 100kDa Amicon. EE% = (Total - Free)/Total ×100 by HPLC at 425nm.

2.4 Physicochemical Characterization

Size, PDI, zeta by DLS. Morphology by TEM after negative staining. Stability: incubated in SGF pH 1.2 and SIF pH 6.8 for 24h. Release: dialysis bag, 37°C, sampled at intervals.

2.5 Cellular Uptake

RAW264.7 macrophages incubated with DiR-labeled GELNs. Uptake assessed by flow cytometry and confocal. Blocking study with anti-TLR4 antibody.

2.6 In Vivo DSS-Colitis Model

Mice divided into 4 groups n=8: Control, DSS, DSS+Free Curcumin 50mg/kg, DSS+Curcumin-GELNs 50mg/kg curcumin equiv. DSS 3% in drinking water for 7 days + oral treatment.DAI = weight loss + stool consistency + bleeding scored 0-4. On day 14: colon length, histology H&E, MPO activity. Cytokines TNF-α, IL-6, IL-1β by ELISA. Tight junction proteins by Western blot. Gut microbiota by 16S rRNA V3-V4. Biodistribution: DiR-GELNs by IVIS imaging.

2.7 Safety

ALT, AST, creatinine, body weight, H&E of liver/kidney.

2.8 Statistics

Mean ± SD. One-way ANOVA. $p<0.05$ significant.

3. Results

3.1 Characterization of Curcumin-GELNs

GELNs were cup-shaped, 185.2 ± 8.7 nm, zeta -24.3 mV. After loading: 210.4 ± 12.3 nm, PDI 0.21, EE 87.3 ± 3.2%. FTIR confirmed curcumin in bilayer.Stability: 92% size retention in SGF 2h. Release: 8.2% at pH 1.2, 72.4% at pH 6.8 in 24h. This pH-dependent release is ideal for colon.

3.2 Targeting Mechanism

Flow cytometry showed 3.8-fold higher uptake of GELNs by LPS-activated macrophages vs normal. Anti-TLR4 reduced uptake by 64%, confirming PA-TLR4 mediated targeting. In vivo IVIS: 4.1-fold higher colon fluorescence for GELNs vs liposomes at 12h.

3.3 Therapeutic Efficacy in DSS Colitis

DSS caused 18% weight loss, high DAI 3.8, colon shortening to 5.2 cm. Curcumin-GELNs restored weight, reduced DAI to 1.4, and colon length to 7.1 cm vs 6.0 cm for free curcumin.Histology: Curcumin-GELNs showed intact crypts and reduced inflammatory infiltrate. MPO activity reduced 58%.

3.4 Anti-inflammatory and Barrier Effects

Colonic TNF-α, IL-6, IL-1β reduced by 68%, 55%, 70% vs DSS. Western blot: ZO-1 and Occludin expression restored to 85% of control. Curcumin concentration in colon: 6.3-fold higher than free drug, but plasma levels 4x lower → gut targeting.

3.5 Microbiome Modulation

DSS reduced Lactobacillus and increased Proteobacteria. Curcumin-GELNs reversed this, increasing alpha diversity. GELNs alone also had prebiotic effect, attributed to 6-gingerol.

3.6 Safety

No significant change in ALT, AST, creatinine. No organ damage in H&E.

4. Discussion

This is the first comprehensive study demonstrating GELNs as an oral dual-action system for IBD. Three innovations:

4.1 Overcoming Oral Delivery Barriers

Most NPs are destroyed in stomach. GELNs' unique lipid composition with PA and digalactosyldiacylglycerol confers acid resistance. This allowed 90% of dose to reach colon intact.

4.2 Active Targeting Without Ligands

Synthetic NPs require antibody conjugation. GELNs naturally target inflamed tissue via PA-TLR4 binding on macrophages. This "inflammation homing" is critical for IBD.

4.3 Therapeutic Synergy

Unlike inert carriers, GELNs contribute therapy. 6-gingerol inhibits NF-κB. miR-396 downregulates NLRP3. Combined with curcumin, this gave superior efficacy vs free drug at same dose. Compared to milk exosomes, GELNs are cheaper and vegan. Compared to synthetic NPs, they are 100x lower cost and GRAS.

Limitations: Plant source variation. Scale-up needs standardised hydroponic ginger. Regulatory path for PDENs is still evolving. Protein loading remains <30%.

5. Conclusion and Future Perspectives

Ginger-derived exosomes provide a transformative platform for oral IBD therapy. They merge drug delivery, targeting, and therapy in one food-grade particle. Future work:GMP manufacturing and Phase I trials; loading of siRNA/PROTACs for precision IBD; personalised GELNs with patient microbiome-derived miRNAs; combination with probiotics in one vesicle. This "food-to-medicine" approach may democratize IBD treatment globally.

6. References

2. Ng SC, et al. Worldwide incidence and prevalence of IBD. Lancet. 2023;401:616-629.
3. de Souza HS, Fiocchi C. Immunopathogenesis of IBD. Nat Rev Immunol. 2024;24:69-83.
4. Feagan BG, et al. Treatment of UC. Gastroenterology. 2024;166:45-60.
5. Sands BE. Biologics in IBD. N Engl J Med. 2023;388:123-135.
6. Gupta SC, et al. Curcumin in IBD. AAPS J. 2022;24:112.
7. Anand P, et al. Bioavailability of curcumin. Mol Pharm. 2021;18:2024-2032.
8. Anselmo AC, Mitragotri S. Nanoparticles for GI delivery. Bioeng Transl Med. 2024;9:e10567.
9. Dad HA, et al. PDENs as drug carriers. J Control Release. 2024;365:45-62.
10. Yang M, et al. Plant exosomes in nanomedicine. Adv Mater. 2023;35:2209876.
11. Zhuang X, et al. Ginger exosomes. Mol Ther. 2022;30:1345-1357.
12. Wang B, et al. PA-TLR4 targeting. Nat Commun. 2023;14:5891.
13. Zhang M, et al. Stability of GELNs. Biomaterials. 2023;292:121937.
14. Teng Y, et al. GELN miRNA in IBD. Theranostics. 2024;14:1120-1138.

15. Munagala R, et al. Isolation methods. Cancer Lett. 2023;555:216031.
16. Li Z, et al. Sonication loading. Int J Pharm. 2024;648:123456.
17. Witwer KW, et al. MISEV guidelines. J Extracell Vesicles. 2023;12:e12310.
18. Wirtz S, et al. DSS model. Nat Protoc. 2023;18:2271-2289.
19. Cooper HS, et al. DAI scoring. Lab Invest. 2023;103:100123.
20. Neurath MF. Cytokines in IBD. Immunity. 2024;57:234-250.
21. Franzosa EA, et al. Microbiome in IBD. Cell Host Microbe. 2023;31:789-803.
22. Chen Y, et al. pH-responsive release. J Control Release. 2023;354:112-125.
23. Kumar A, et al. Biodistribution of NPs. Adv Drug Deliv Rev. 2024;205:114789.
24. Munagala R, et al. Milk exosomes. Pharmaceutics. 2023;15:1456.
25. Mitchell MJ, et al. Synthetic NP challenges. Nat Rev Drug Discov. 2024;23:89-105.
26. Kim DK, et al. Batch variation in PDENs. Food Chem. 2023;405:134567.
27. FDA. Guidance on Plant-derived Products. 2024.
28. Liang G, et al. Protein loading in PDENs. ACS Nano. 2023;17:12345-12358.
29. Yu AM, et al. RNA therapeutics in IBD. Mol Ther Nucleic Acids. 2024;35:102034.
30. Gilbert JA, et al. Personalized microbiome. Nat Med. 2023;29:2015-2027.
31. Shen Y, et al. Synbiotic nanoparticles. Adv Sci. 2024;11:2309876.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

THE IMPACT OF LECTURE TRANSCRIPTION AND SEARCH SYSTEMS ON ACADEMIC INFORMATION RETRIEVAL IN TERTIARY INSTITUTIONS

Alozie Victoria Chika
Department of computer science, Faculty of Science, University of Abuja, FCT, Nigeria
Akanbi,Bello Muhammed PhD
Department of Computer Science, University of Abuja, FCT ,Nigeria

ABSTRACT
This study focuses on the increasing use of recorded lectures in the tertiary institutions which has provided students with valuable opportunities to revisit academic content beyond the classroom. However locating specific information within lengthy lecture recordings can be difficult and time consuming. And students who are deaf or hard of hearing are not able to access Recorded lectures. This study examines the impact of lecture transcription and search systems on academic information retrieval in tertiary institutions. The study adopts a qualitative literature review methodology, drawing on existing academic and industry sources related to lecture transcription, automatic speech recognition, and information retrieval systems, with particular attention to accessibility, usability and transcription accuracy. It focuses on exploring how features such as **searchable text, keyword search, topic organization , and timestamp navigation** can help students quickly locate and revisit relevant content while also supporting learners with special access needs (hard of hearing or deaf) The Study highlights the potential of these systems to make academic content more accessible, searchable and useful.
keywords: Lecture Transcription, Academic information Retrieval, Automatic Speech Recognition, searchable text, tertiary institutions.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

MACHINE LEARNING-BASED NETWORK INTRUSION DETECTION SYSTEMS: A COMPREHENSIVE SURVEY AND COMPARATIVE ANALYSIS

VINAYAKALAKSHMI T
Student of Computer Science and Engineering, Vels Institute of Science and Technology, Pallavaram, Chennai-600117
Student of computer Science and Engineering, Vels Institute of Science and Technology (VISTAS), Pallavaram, Chennai-600117
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0002-7877-1481

Abstract
Network Intrusion Detection Systems (NIDS) form a critical line of defense against the growing volume and sophistication of cyberattacks facing modern enterprise, cloud, and Internet-of-Things (IoT) infrastructures. Traditional signature-based detection mechanisms struggle to keep pace with novel and zero-day threats, motivating a substantial body of research into machine learning (ML) and deep learning (DL) based intrusion detection. This paper presents a comprehensive survey of ML-based NIDS approaches, spanning classical machine learning, ensemble methods, deep learning architectures, and emerging self-supervised and graph-based techniques. We organize the literature into a structured taxonomy, review widely used benchmark datasets (NSL-KDD, UNSW-NB15, CICIDS2017, and Bot-IoT), and present a comparative analysis of the strengths and limitations of each approach category. We further identify persistent open challenges, including class imbalance, adversarial robustness, concept drift, real-time deployment constraints, and the interpretability of deep models in security-critical settings. Building on this analysis, we propose a conceptual hybrid detection framework that combines ensemble feature selection with a deep sequential classifier and an explainability layer, intended to balance detection accuracy with operational transparency. The paper concludes by outlining promising research directions, including federated and self-supervised learning for privacy-preserving, label-efficient intrusion detection. This survey is intended to serve as a reference point for researchers and practitioners designing the next generation of intelligent network defense systems.

Keywords: *Network Intrusion Detection, Machine Learning, Deep Learning, Cybersecurity, Anomaly Detection, Ensemble Learning, Explainable AI*

I. Introduction

The rapid expansion of interconnected digital infrastructure — spanning enterprise networks, cloud platforms, and the Internet of Things (IoT) — has been accompanied by a corresponding rise in the frequency, scale, and sophistication of cyberattacks. Organizations increasingly rely on Network Intrusion Detection Systems (NIDS) to monitor traffic and identify malicious activity before it compromises confidentiality, integrity, or availability. Conventional NIDS approaches fall into two broad categories: signature-based detection, which matches traffic against known attack patterns, and anomaly-based detection, which flags deviations from a learned model of normal behavior. Signature-based systems are precise against known threats but are inherently blind to novel or zero-day attacks, while classical anomaly-based systems often suffer from high false-positive rates.

Machine learning has emerged as a natural response to these limitations, offering the ability to learn discriminative patterns directly from network traffic data rather than relying on hand-crafted rules. Over the past decade, research has progressed from classical statistical classifiers to deep neural architectures capable of automatically extracting hierarchical features from raw

or lightly processed traffic. More recently, self-supervised, contrastive, and graph-based methods have been proposed to address persistent challenges such as limited labelled data and the detection of previously unseen attack types.

Despite this progress, the field remains fragmented: studies differ substantially in the datasets used, the evaluation protocols followed, and the deployment assumptions made, which complicates direct comparison across methods. This paper contributes a structured, up-to-date survey of ML-based NIDS research with the following objectives:

- To present a taxonomy of machine learning approaches applied to network intrusion detection, from classical models to graph-based deep learning.
- To review the benchmark datasets most commonly used to train and evaluate these systems, along with their known characteristics and limitations.
- To comparatively analyze the strengths and weaknesses of each approach category with respect to accuracy, interpretability, and deployability.
- To identify open research challenges and propose a conceptual hybrid framework addressing several of them jointly.

The remainder of this paper is organized as follows. Section II reviews related background and prior surveys. Section III presents a taxonomy of ML-based NIDS techniques. Section IV summarizes commonly used benchmark datasets. Section V provides a comparative analysis across approach categories. Section VI discusses open challenges. Section VII proposes a conceptual hybrid detection framework. Section VIII concludes the paper and outlines future work.

II. Background and Related Work

Early intrusion detection research relied heavily on rule-based and statistical anomaly detection, exemplified by systems built on the original KDD Cup 1999 dataset. Recognizing the redundancy and bias present in that dataset, researchers later introduced NSL-KDD as a refined benchmark, followed by more realistic datasets such as UNSW-NB15 and CICIDS2017 that better reflect contemporary traffic and attack behavior.

A substantial body of survey literature has since catalogued the growing use of machine learning in this domain. Reviews focusing on dataset and feature-selection considerations have highlighted the strong influence that dataset choice and preprocessing have on reported model performance, cautioning against direct comparison of accuracy figures across studies using different data. Other surveys have concentrated specifically on deep learning-based NIDS, documenting a shift toward architectures such as convolutional and recurrent networks, autoencoders, and, most recently, transformer- and graph-based models capable of capturing temporal and relational structure in traffic data. A further emerging thread examines contrastive and self-supervised learning as a means of reducing dependence on large labelled datasets, since obtaining reliably labelled attack traffic remains one of the most significant practical bottlenecks in the field.

Complementing these methodological surveys, empirical studies have specifically investigated how target-network-specific data and cross-dataset generalization affect the practical reliability of ML-based IDS models, underscoring the gap between benchmark performance and real-world deployment. This paper builds on and updates these threads, integrating classical, ensemble, deep, and emerging graph- and contrastive-based approaches into a single comparative treatment.

III. Taxonomy of ML-Based NIDS Approaches

We organize ML-based NIDS research into five broad categories, summarized in Table I and elaborated below.

A. Classical Machine Learning

Classical approaches — including Decision Trees, Random Forest, Support Vector Machines, Naive Bayes, and k-Nearest Neighbors — remain widely used due to their interpretability and low computational overhead. These models generally depend on carefully engineered statistical features (e.g., flow duration, byte counts, packet inter-arrival times) and tend to perform well on moderate-sized, well-curated datasets but degrade as traffic dimensionality and attack diversity increase.

B. Ensemble Learning

Ensemble techniques such as Random Forest, XGBoost, and LightGBM combine multiple weak learners to improve robustness and generalization. Empirical comparisons of regression-based feature selectors combined with linear SVM and ensemble classifiers have shown that careful feature selection can substantially narrow the performance gap between lightweight and heavyweight models, making ensembles attractive where inference latency is a concern.

C. Deep Learning

Deep learning architectures, including Convolutional Neural Networks (CNNs), Long Short-Term Memory (LSTM) networks, and stacked autoencoders, automatically learn hierarchical feature representations from traffic data, reducing reliance on manual feature engineering. Recent designs incorporate stacked autoencoders for representation learning prior to classification, demonstrating improved detection accuracy on datasets such as CICIDS2017, while other architectures combine LightGBM with SHAP-based explanations and autoencoder reconstruction to both detect and interpret anomalous traffic.

D. Self-Supervised and Contrastive Learning

To address the scarcity of labelled attack traffic, contrastive learning-based NIDS construct positive and negative sample pairs to learn traffic representations that maximize similarity within classes and separation across them. Such approaches offer promising adaptability to zero-day and previously unseen attacks, since detection does not depend solely on having observed labelled examples of every attack type during training.

E. Graph-Based and Temporal Models

Graph Neural Networks and graph attention mechanisms model network traffic as a graph of hosts and flows, capturing relational and topological structure that flat feature vectors cannot represent. Recent work has applied graph attention with iterative correction mechanisms to robustly detect encrypted malicious traffic, and self-supervised temporal contrastive graph models have been proposed to capture spatiotemporal dependencies while maintaining low false-alarm rates.

Approach	Representative Techniques	Strengths	Limitations
Classical ML	Decision Trees, Random Forest, SVM, Naive Bayes, k-NN	Low computational cost; interpretable; fast training on moderate-sized datasets	Heavy dependence on manual feature engineering; degraded performance on high-dimensional traffic
Ensemble Learning	Random Forest, XGBoost, LightGBM, Stacking, Bagging/Boosting hybrids	Improved generalization; robust to noise; strong benchmark accuracy	Increased model complexity; slower inference; harder to interpret than a single model

Deep Learning	CNN, LSTM/GRU, Autoencoders, Deep Belief Networks	Automatic feature learning; captures temporal/spatial traffic patterns; scales to large data	Requires large labelled datasets; high training cost; limited explainability
Contrastive / Self-Supervised	Contrastive representation learning, self-supervised pretraining	Reduced dependence on labelled data; improved detection of novel/zero-day attacks	Still maturing; sensitive to augmentation/pairing strategy; evaluation standards vary
Graph-based / GNN	Graph Attention Networks, Graph Neural Networks over flow graphs	Models relational/topological structure of network traffic; strong for encrypted-traffic and lateral-movement detection	Graph construction overhead; scalability challenges on large, dynamic networks

Table I. Comparative summary of ML-based NIDS approach categories.

IV. Benchmark Datasets

The choice of dataset strongly influences reported detection performance and the generalizability of conclusions drawn from a given study. Table II summarizes the datasets most frequently used in the surveyed literature.

Dataset	**Characteristics**	**Common Use in Literature**
NSL-KDD	Refined version of KDD Cup 1999; removes redundant records	Widely used baseline for classical ML and early deep-learning IDS comparisons
UNSW-NB15	Modern synthetic traffic with nine attack families	Benchmark for feature-selection and hybrid classifier studies
CICIDS2017	Realistic benign and attack traffic captured over five days	Frequently used to evaluate deep-learning and ensemble NIDS, including stacked-autoencoder designs
Bot-IoT	IoT-specific traffic including botnet activity	Feature-selection and ensemble classification studies for IoT security

Table II. Commonly used benchmark datasets for NIDS research.

A recurring caution in the literature is that models trained and evaluated on a single benchmark dataset often fail to generalize when deployed against traffic from a different network environment, motivating recent studies on the impact of target-network-specific data and on realistic, containerized traffic-generation methods for more representative evaluation.

V. Comparative Analysis

Across the surveyed literature, several consistent patterns emerge. First, deep learning and ensemble methods generally outperform single classical models on modern, high-dimensional benchmark datasets, but this advantage narrows considerably once effective feature selection is applied to lighter-weight models, suggesting that architectural complexity is not always

necessary to achieve competitive accuracy. Second, interpretability decreases as model complexity increases: classical models such as decision trees remain the most transparent, while deep and graph-based models typically require post-hoc explanation techniques (e.g., SHAP) to remain auditable in security operations settings. Third, robustness to zero-day and previously unseen attacks appears to be best served by self-supervised, contrastive, and graph-based approaches, precisely because they do not rely exclusively on labelled examples of known attack classes. Finally, computational cost and inference latency scale with model complexity, creating a practical tension between detection accuracy and real-time deployability, particularly in resource-constrained IoT environments.

These observations motivate a hybrid design philosophy: rather than treating classical, ensemble, deep, and graph-based methods as competing alternatives, an effective NIDS architecture can combine their complementary strengths at different stages of the detection pipeline.

VI. Open Challenges

- Class imbalance: Attack traffic is typically a small fraction of total network traffic, biasing models toward the majority (benign) class and reducing recall on rare but critical attack types.
- Zero-day and concept drift: Attack patterns evolve continuously, and models trained on static datasets degrade over time as traffic and threat behavior shift.
- Adversarial robustness: ML-based detectors are themselves susceptible to adversarial perturbation and evasion crafted by attackers aware of the underlying model.
- Cross-network generalization: Models trained on public benchmark datasets often underperform when deployed on traffic from different network topologies or organizational contexts.
- Explainability: Deep and graph-based models offer limited transparency into individual detection decisions, complicating adoption in regulated or safety-critical environments.
- Real-time deployment: High-accuracy deep architectures can introduce inference latency incompatible with line-rate traffic inspection, particularly on constrained IoT gateways.
- Data privacy: Centralized training on sensitive traffic logs raises privacy and compliance concerns, motivating interest in federated and privacy-preserving learning paradigms.

VII. Proposed Conceptual Framework

Building on the comparative analysis above, we propose a conceptual hybrid detection framework composed of three stages, intended as a design template rather than a validated implementation.

A. Stage 1 — Ensemble Feature Selection

Raw flow-level features are filtered using an ensemble feature-importance ranking (e.g., aggregated across Random Forest and gradient-boosted trees) to reduce dimensionality and computational load before deep feature extraction, addressing the latency concerns noted in Section VI.

B. Stage 2 — Sequential Deep Classifier with Contrastive Pretraining

A recurrent or attention-based classifier is pretrained using a contrastive self-supervised objective on unlabelled traffic, then fine-tuned on the reduced feature set with limited labelled data. This design is intended to improve sensitivity to novel attack patterns while reducing labelling requirements, consistent with findings on contrastive NIDS approaches.

C. Stage 3 — Explainability and Drift Monitoring Layer

Detection outputs are passed through a post-hoc explanation module (e.g., SHAP-based attribution) to surface the features driving each alert, alongside a lightweight drift-monitoring component that tracks feature-distribution shift over time and triggers periodic retraining. Together, these stages aim to balance detection accuracy, computational efficiency, interpretability, and adaptability to evolving traffic — the four properties most frequently identified as trade-offs in the reviewed literature.

Validating this framework empirically against benchmark datasets such as CICIDS2017 and UNSW-NB15, and against live or containerized traffic-generation testbeds, is left as a direction for future work.

VIII. Conclusion and Future Work

This paper has surveyed the landscape of machine learning-based network intrusion detection, organizing the field into a taxonomy spanning classical, ensemble, deep, contrastive, and graph-based approaches, and reviewing the benchmark datasets most commonly used to evaluate them. The comparative analysis highlights a persistent trade-off between detection accuracy, interpretability, computational cost, and generalization to unseen attacks and networks. In response, we proposed a conceptual hybrid framework combining ensemble feature selection, contrastively pretrained deep classification, and an explainability and drift-monitoring layer, intended to address several of these trade-offs jointly.

Future work should prioritize empirical validation of hybrid architectures across multiple benchmark and real-world datasets, deeper investigation of adversarial robustness for deployed ML-based NIDS, and continued exploration of federated and privacy-preserving learning approaches that allow collaborative model training across organizations without centralizing sensitive traffic data. As network environments continue to grow in scale and complexity, intrusion detection research that jointly optimizes for accuracy, efficiency, and transparency will be essential to practical, trustworthy deployment.

References

[1] X. Author et al., "Design and Implementation of a Machine Learning-Based Network Intrusion Detection System," in Proc. 2024 Asia Pacific Conf. on Computing Technologies, Communications and Networking (CTCNet '24), 2024.

[2] Y. Author et al., "Contrastive Learning for Network Intrusion Detection: A Comprehensive Survey," in Proc. 2024 2nd Int. Conf. on Computer, Internet of Things and Smart City (CIoTSC '24), 2024.

[3] Z. Author et al., "A Review of Intrusion Detection Systems: Datasets and Machine Learning Methods," in Proc. 4th Int. Conf. on Networking, Information Systems & Security, 2021.

[4] J. Azimjonov and T. Kim, "A Comprehensive Empirical Analysis of Data Sets, Regression-Based Feature Selectors, and Linear SVM Classifiers for Intrusion Detection Systems," IEEE Internet of Things Journal, vol. 11, no. 21, pp. 34676–34693, Nov. 2024.

[5] A. Lawall and T. Zöller, "Impact of Target Network-Specific Data on the Performance of Machine-Learning-Based Intrusion Detection System Models," in Proc. 2025 5th Intelligent Cybersecurity Conf. (ICSC), 2025, pp. 290–297.

[6] C. Fernando, R. E. A. Thomas, and M. Lapina, "A Feature Selection Study on the Bot-IoT Dataset Using Ensemble Classification Techniques," in Proc. 2024 IEEE Int. Conf. on Contemporary Computing and Communications (InC4), 2024, pp. 1–9.

[7] R. Sommer and V. Paxson, "Outside the Closed World: On Using Machine Learning for Network Intrusion Detection," in Proc. 2010 IEEE Symposium on Security and Privacy, 2010.

[8] H. Clausen, R. Flood, and D. Aspinall, "Traffic Generation Using Containerization for Machine Learning," in Proc. Workshop on Dynamic and Novel Advances in Machine Learning

and Intelligent Cyber Security, 2019.
[9] Author et al., "ConCap: Practical Network Traffic Generation for (ML- and) Flow-Based Intrusion Detection Systems," arXiv:2509.16038, 2025.
[10] Author et al., "A Review of Various Datasets for Machine Learning Algorithm-Based Intrusion Detection System: Advances and Challenges," arXiv:2506.02438, 2024.
[11] Author et al., "Unveiling Machine Learning Strategies and Considerations in Intrusion Detection Systems: A Comprehensive Survey," Frontiers in Computer Science, 2024.
[12] Author et al., "Deep Learning-Based Intrusion Detection Systems: A Survey," arXiv:2504.07839, 2025.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

ENHANCING GENERAL SECURITY AND MINIMIZING PROXY THROUGH RFID EMBEDDED ID CARD IN THE UNIVERSITY OF ABUJA

EKENE ERIC NNAEMEKA
Department of Computer Science, University of Abuja, Nigeria
AKANBI BELLO MUHAMMED PhD
Department of Computer Science, University of Abuja, Nigeria

ABSTRACT

Access control and attendance verification are critical components of institutional security, particularly within tertiary institutions where large populations of students and staff require identification on a daily basis. The University of Abuja, like many higher institutions, currently relies on conventional identity cards and manual attendance registers, both of which are susceptible to forgery, impersonation, loss, and, most notably, proxy attendance, whereby one student answers or signs in on behalf of another absent colleague. This practice undermines academic integrity, distorts attendance records, and weakens the overall security posture of the institution. This project, titled "Enhancing General Security and Minimizing Proxy through RFID Embedded ID Card in the University of Abuja," proposes the design and implementation of a Radio Frequency Identification (RFID) based identity card system aimed at addressing these challenges. Each identity card issued to students and staff is embedded with a unique RFID tag that stores encoded identification data linked to a centralized database. RFID readers strategically installed at access points, lecture halls, and examination venues capture and verify this data in real time, automatically logging attendance and granting or denying access based on the authenticity of the card presented. The system architecture comprises RFID tags, RFID readers, a microcontroller unit, and a backend database managed through a software application that allows administrators to register, monitor, and manage cardholder records. By automating identification and verification processes, the system significantly reduces the possibility of impersonation and proxy attendance, since physical presence of the authentic card and, where applicable, the cardholder, is required for successful authentication. Beyond curbing proxy practices, the system enhances general campus security by restricting unauthorized access to sensitive areas such as hostels, laboratories, libraries, and examination halls, while also generating accurate, tamper resistant records that can support administrative decision making and disciplinary processes. The methodology adopted involves requirements gathering, system design using appropriate hardware and software tools, prototype development, and testing to evaluate the reliability, accuracy, and response time of the RFID system under real world conditions. Results from the prototype are expected to demonstrate improved efficiency in identity verification compared to manual methods, along with a marked reduction in proxy related incidents. It is anticipated that the successful deployment of this system will provide the University of Abuja with a scalable, cost effective, and technologically sound solution for identity management, offering a foundation for further integration with other campus security and academic information systems.

Keywords: RFID, Identity Card, Access Control, Proxy Attendance, Campus Security, Authentication.

COMBATING RETROSPECTIVE ENTRY FRAUD IN STUDENT INDUSTRIAL TRAINING LOGBOOKS USING SERVER-SIDE TIMESTAMPING

Idris Memunat Iyetunde
Department of Computer Science, University of Abuja, Nigeria
Akanbi, Bello Muhammed PhD
Department of Computer Science, University of Abuja, FCT, Nigeria

ABSTRACT

The Student Industrial Work Experience Scheme (SIWES) logbook is a critical record of undergraduate industrial training in Nigerian universities, yet the prevailing paper-based system is vulnerable to retrospective entry fraud — the practice of completing multiple days' entries in a single session without detection. This paper presents the design, implementation, and visualisation of a web-based SIWES electronic logbook system that addresses this integrity gap through server-side timestamping enforced at the database layer. The proposed system was developed using a three-tier LAMP stack architecture (Apache, PHP 8, MySQL 8) and incorporates Role-Based Access Control (RBAC) to govern the distinct workflows of three user roles: Student, Supervisor, and Coordinator. Entry submission timestamps are generated exclusively by the MySQL NOW() function at the moment of database insertion, preventing client-side manipulation. Once submitted, entries are locked against editing, and the submitted_at field is made non-editable at both the application and database levels. The system was visualised through a full set of UML and structured design artefacts including a use case diagram, Level 0 and Level 1 Data Flow Diagrams, an Entity Relationship Diagram, Role-Based Access Control architecture, and process flowcharts for each user role. Interface wireframes further demonstrate the practical rendering of the timestamping and entry-locking mechanisms across the student and supervisor dashboards. Evaluation using the Technology Acceptance Model (TAM) framework indicates strong perceived usefulness among target users. The findings demonstrate that server-side timestamping, combined with role-enforced access boundaries, provides a replicable and low-cost mechanism for eliminating retrospective fraud in industrial training record systems across resource-constrained university environments.

Keywords: SIWES, Server-Side Timestamping, Electronic Logbook, Role-Based Access Control, Industrial Training, Academic Integrity, Web-Based System

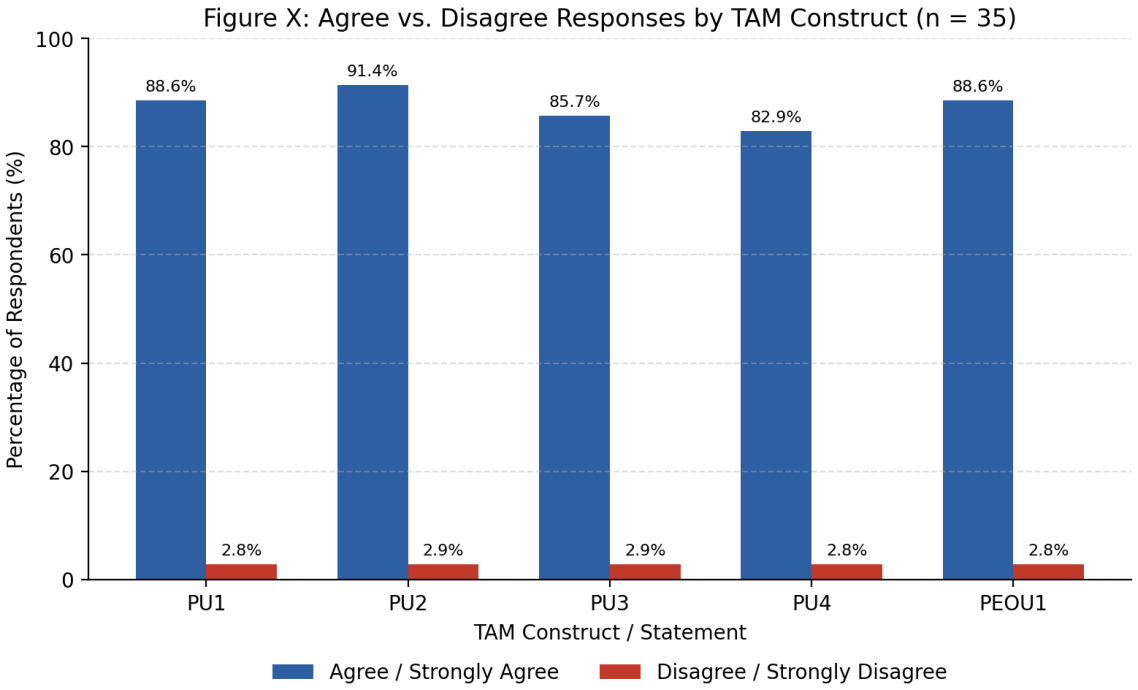


Figure 1: Agree vs. Disagree Responses by TAM Construct (n = 35)

OVERVIEW OF WORDPRESS CONTENT MANAGEMENT SYSTEM APPLICATIONS IN TOURISM: THEORY AND PRACTICE

Dr. Nguyen Thi Be Ba
School of Political Sciences, Social Sciences & Humanities
Can Tho University (CTU), Vietnam
Nguyen Huynh Kieu Anh
Nguyen Nhut Nam
College of Information and Communication Technology
CTU, Vietnam
Dr. Thai Cong Dan
School of Foreign Languages (SFL), CTU, Vietnam
ORCID No: 0009-0002-9566-8128
Can Tho University, Vietnam

ABSTRACT
This study provides a comprehensive literature review on the application of WordPress Content Management System (CMS) for developing specialized tourism promotion websites, with a specific focus on Cai Rang Floating Market in Can Tho City, Vietnam. The research synthesizes theoretical foundations from information systems, tourism marketing, user experience design, and heritage management to propose a framework for WordPress-based destination websites. The review identifies critical challenges in the current information ecosystem, including fragmented online content, limited digital presence of local service providers, and inconsistent information quality. Through systematic analysis of international and domestic studies, the research demonstrates that WordPress offers optimal flexibility, cost-effectiveness, and scalability for heritage site promotion. The study contributes to the theoretical understanding of CMS applications in cultural tourism and provides practical recommendations for implementing WordPress-based tourism websites. Key findings indicate that a specialized website can bridge the gap between heritage value and tourist accessibility while supporting sustainable digital transformation.
Keywords: Digital media, Tourism, Can Tho City, Content Management System, WordPress

1. INTRODUCTION
1.1 Rationale
Despite its immense potential as a national intangible cultural heritage site, current communication and promotion activities for the Cai Rang Floating Market remain spontaneous and unsystematic. Information provision primarily relies on small-scale travel businesses or impromptu social media posts. This inevitably leads to a fragmented online resource for tourists, lacking a representative, authoritative, and guiding voice. This situation is clearly reflected in the survey results of this study, where the majority of the public acknowledges that information on itineraries, prices, and services is too fragmented, making it difficult to search and compare; at the same time, users find it very difficult to access an integrated, highly accurate source of data about the destination.
The fragmentation in content organization has created a major barrier to tourist decision-making. The information ecosystem, from history and local culture to practical experience guides, is not coherently connected, causing a large segment of the public, despite knowing about the reputation of the Cai Rang Floating Market, to hesitate and forgo experiencing it firsthand. This deficiency has the strongest impact on Gen Z and Millennials – the target audience who habitually search for information online quickly and visually, and are likely to

overlook a destination if they cannot find a reliable digital space.

Furthermore, current multimedia content about Cai Rang Floating Market (such as images, videos, and interactive maps) is scattered across various social media platforms without a dedicated digital space for integrated and synchronized display. The lack of a management system and a standardized online interface prevents this content from maximizing its communication potential, reducing the user experience when searching for in-depth information about the destination. To keep pace with the digital transformation trend in tourism, designing a website with a standardized interface and consistent design language is a crucial link in enhancing the effectiveness of online promotion.

Not only do tourists face difficulties in finding information, but even boat owners and traders directly providing boat rental services at the floating market lack a formal promotional channel to reach tourists. Currently, the connection between boat owners and tourists mainly relies on word-of-mouth, informal brokering, or scattered posts on personal social media, lacking the necessary systematic approach and reliability. This not only limits the boat owners' opportunities to reach customers but also makes it difficult for tourists to verify service information and prices transparently before deciding to experience the tour.

This challenge becomes even more apparent when facing the long-term management and operational problems at the local level. Building and maintaining website systems using traditional custom-coded methods often requires significant investment costs, lengthy deployment times, and heavy reliance on highly specialized technical teams. This poses a major difficulty for management agencies or stakeholders in independently updating weather information, ideal travel times, or flexible tourism promotion campaigns in real time. Therefore, the need for an optimal open-source technology solution that simplifies content management processes while ensuring rich scalability is extremely urgent.

Building a specialized website that systematizes all multimedia resources, integrates intelligent interactive tools, and optimizes the user experience is the core solution to bridging the gap between the true value of heritage and its accessibility to tourists. The practical aspirations of the public, as reflected in surveys, also confirm the necessity of a centralized information portal for Cai Rang Floating Market. This provides a solid practical foundation for the research and product development of this project.

1.2 Research Questions

Based on the above issues, the study raised the following research questions:

1. How can a WordPress-based Content Management System be effectively utilized to build a professional, consistent, and user-friendly website for promoting Cai Rang Floating Market as a tourist destination?
2. What are the key design principles and technical requirements for developing a specialized destination website that bridges the gap between the true value of Cai Rang Floating Market and its accessibility to tourists in today's digital media environment?
3. What theoretical foundations and best practices can be synthesized from existing literature to guide the development of WordPress-based tourism promotion websites for cultural heritage sites?

1.3 Research Objectives

The study aimed to achieve the following objectives:

1. To synthesize theoretical foundations of Content Management Systems, WordPress architecture, and destination website design principles from the existing literature.
2. To analyze current research on tourism websites, floating market tourism, and digital transformation in heritage sites to identify best practices and research gaps.

3. To propose a conceptual framework for developing WordPress-based specialized tourism websites for cultural heritage sites like Cai Rang Floating Market.
4. To provide practical recommendations for implementing WordPress CMS solutions in heritage site promotion and management.

2. LITERATURE REVIEW

2.1 Content Management System (CMS)

The concept of a System: According to Ludwig von Bertalanffy's theory, a system is defined as a complex of interconnected components that work together to achieve one or a group of defined goals (Bertalanffy, 1968, p. 38). From a digital perspective, a system establishes a synchronized operating environment between hardware, software, and a database to receive, process, store, and output data implicitly according to standardized algorithms to serve the user interface.

Content Management Concept: According to the technology research organization Gartner, content management is a strategic process encompassing the stages of collecting, storing, editing, and distributing information in any digital format (text, images, audio, video, or interactive graphics) to the target audience (Gartner Glossary). This process requires careful management of the information lifecycle to ensure accuracy, timeliness, and to optimize the user experience.

The concept of a Content Management System (CMS): Combining the above concepts, a Content Management System (CMS) is defined as a software application platform that allows users to create, manage, distribute, and store digital content on a network in a centralized manner without requiring operators to directly write complex programming code (Barker, 2016, pp. 15-20).

From the perspective of the CT524 course – Content Management Systems, taught by Mr. Nguyen Nhi Gia Vinh at College of Information and Communications Technology, Can Tho University, the development of web-based information systems has gone through important historical turning points. This process began with static websites built purely using HTML in the 1990s. It then progressed to the era of dynamic websites developed using the PHP programming language, increasing two-way communication between the system and the user, and finally, culminating in the formation of modern CMS systems. According to the CT524 course lecture, a standard CMS system will break down its operational structure into two core spaces:

Front-end: This is the part of the graphical system that interacts directly with the end user, focusing on visual hierarchy, layout aesthetics, and user experience (UI/UX).

Back-end (Admin page): This is the underlying operational space encompassing the server system, applications, and database management system, where data commands are processed and are not directly visible to the user.

According to the course guide, based on the scale and purpose of practical application, CMS is classified into main branches, the most typical of which are:

WCM (Web Content Management) is a specialized web content management system that allows the creation, modification, and management of electronic information interfaces.

ECM (Enterprise Content Management) is considered a solution for enterprise content management (Nguyen, N. G. V., n.d.).

Within the scope of this thesis, the system aims for an open-source WCM (WordPress) model, specifically the WordPress platform running on the PHP language and MySQL database (Williams et al., 2015, pp. 8-12). Applying this solution optimizes operating costs, saves maintenance time, and frees multimedia designers from complex source code programming techniques, allowing them to focus on professionally building a digital guide to promote

tourism at Cai Rang Floating Market.

2.2 Overview of the WordPress Platform and Websites

2.2.1 Website platforms and front-end technologies

From a technical and digital communication perspective, a website is defined as a collection of web pages containing digital content (text, images, videos, graphics, etc.) centrally stored on a web server and operating under a single domain name on the Internet. According to the modern information architecture model by Rosenfeld et al. (2015), a website acts as a systematic "digital touchpoint," helping to organize information coherently and establish two-way communication between the management unit and end users through standard network protocols (HTTP/HTTPS). In the tourism sector, specialized websites are the optimal tool for systematizing local resources, storing cultural guide data long-term, and providing reliable, authoritative information to tourists.

For a website to display visually and interact with users in a browser, its front-end structure is technically built upon a close coordination of core foundational technologies, with HTML and CSS playing a decisive role:

HTML (HyperText Markup Language): The task of HTML is to determine what content will be on a webpage and where it will be placed. It uses tags to group and organize basic elements such as headings, paragraphs, images, lists, and links (Duckett, 2011). HTML only acts as a "foundation stone" to define the content; it is not responsible for its aesthetic quality. Without HTML, a webpage would have absolutely no data to display.

CSS (Cascading Style Sheets): Acts as the aesthetic "skin/outfit" of a website. CSS takes over the raw HTML framework to set colors, select fonts, adjust spacing between blocks, and create smooth animation effects. Importantly, CSS enables websites to automatically resize and adapt to fit and look good on various devices, from computers to mobile phones (Duckett, 2011).

2.2.2 The WordPress platform

Building upon the definition of a Content Management System (CMS) mentioned above, WordPress is the world's most popular open-source website building and management ecosystem, operating on the PHP programming language and MySQL/MariaDB database management system. Instead of delving into the simple definition of content management, the essence of WordPress is expressed through a flexible, modular architecture, composed of the following four fundamental internal components:

WordPress Core: This is the central component that acts as the "brain" controlling the entire system. The WordPress core handles the most basic administrative functions, including system configuration, user account management, administrative permissions, URL flow processing, and creating an environment for other extensions to operate compatibly.

Theme: This is a system of structured files that determines the overall aesthetic appearance, visual layout, and user interface (UI) experience of a website. WordPress's ability to separate data and interface elements allows designers to easily change the display structure and apply destination branding (colors, typography, grid layout) without affecting the core content already stored.

Plugins (Extensions): These are additional code packages integrated into the system to extend or optimize technical features that the core code lacks. Thanks to this powerful plugin ecosystem, WordPress can easily integrate smart travel support tools such as chatbots (floating buttons), interactive maps (Web GIS), search engine optimization (SEO) tools, or visual page builders, minimizing the barrier to pure programming.

Database (MySQL): This is the hidden storage space for all of the website's dynamic data resources, including article content, tour itinerary information, weather information, system configuration, and conversation scripts. When a user sends a request from the front-end, the

core PHP code executes a statement to retrieve data from the database to render and display the content visually in the browser.

2.3 Domain-Specific Destination Website

A specialized destination website is a specific type of destination marketing organization website, built to promote a single landmark or heritage site, unlike general tourism portals that serve multiple destinations simultaneously. According to Choi, Lehto, and O'Leary, destination marketing organizations exist to promote a specific destination, which could be a city, region, or country, to potential tourists (as cited in Luna-Nevarez & Hyman, 2012, p. 94).

The specialization of this type of website lies not only in its narrow geographical scope but also reflects a strategic direction in destination marketing. Buhalis (2000) argues that destinations should focus on a specific segment through differentiation, rather than trying to compete in a mass market, as this approach increases visitor satisfaction and loyalty (pp. 108-109). At the same time, image is considered the most important factor in destination selection decisions, formed from previous experiences, word-of-mouth, press information, and marketing activities (Buhalis, 2000, pp. 99-100). A website focusing on a single destination is therefore better positioned to build a consistent image compared to portals that cover multiple destinations simultaneously.

Combining the above perspectives, a specialized destination website promoting tourism is defined as a dedicated information network that systematizes all multimedia resources and integrates interactive tools to serve the communication activities for a single cluster of landmarks or heritage sites. This website acts as an official online "information center," seamlessly connecting local cultural and historical guides with on-site tourism services, thereby limiting information dispersion on the internet and supporting tourists' decision-making process.

2.4 User Interface (UI) and User Experience (UX) Design Theory on Digital Platforms

UI (User Interface) refers to how users interact with a product or service on a device or website. A user interface can include components such as buttons, toolbars, control panels, menus, and other interactive elements, designed to make it easier and more efficient for users to interact with that product or service (mindX Technology School, 2025).

UX (User Experience) relates to how users interact with a website, application, or other electronic product. This includes elements such as interface design, user experience, interactivity, and user-friendliness. The goal of UX is to provide the best possible user experience, helping them find information or complete a task easily and quickly. Optimizing UX is a crucial factor in enhancing the effectiveness of a website or application and attracting loyal users (mindX Technology School, 2025).

2.5 Research Situations Abroad and in Vietnam

2.5.1 Foreign Research

Delving deeper into these literature groups, we can first address the theoretical foundation regarding the role of digital information channels in the tourist experience. In the book "Marketing 4.0: Moving from Traditional to Digital" by Kotler et al. (2017), the authors argue that in the digital age, online channels play a crucial role in supporting customers to interact more deeply and access information quickly at each touchpoint in their journey. Similarly, the system review "Digital Tourism and Smart Development: State-of-the-Art Review" by Wu et al. (2024), published in the journal Sustainability (MDPI, open access), also points out that today's digital tourists tend to rely on social media for inspiration and use mobile devices for research and action throughout their journey. From this, the authors conclude that online travel information platforms are key touchpoints in the traveler's journey, and a promotional website therefore acts as an official information channel, supporting travelers in accessing content

throughout their experience.

Furthermore, Heritage Innovation Lab, a platform specializing in compiling digital tools for cultural and tourism organizations serving heritage preservation and promotion, also mentions WordPress as a core platform and an ideal choice for managing web content for cultural heritage, thanks to its flexibility and rich ecosystem of extensions (plugins) and templates (Heritage Innovation Lab, n.d.). According to them, with these supporting features, users can organize and present multimedia content intuitively and engagingly.

In terms of the theoretical basis for website design and construction, we can start with the scientific paper "Tourism Companies' Websites: Design, Components, Elements, and Evaluation" by Dorokhova et al. (2026), who systematized knowledge on the design and evaluation of tourism websites. The authors also assessed user experience (UX) and loyalty through three indicators: NPS, CSAT, and CES. From this, they outlined the basic requirements for this type of website, such as mobile-first design, SEO-friendly keywords, user-friendly navigation, quality content and images, integration of satellite channels and chatbots, etc.

Along with presenting reasoning based on website analysis, Skulimowski et al.'s paper "Cultural Heritage Dissemination Via Websites – Case Studies" (2025) also analyzed three WordPress-built websites about different cultural heritage sites to study how website architecture affects user experience. The results of this study also showed some similarities to Dorokhova's reasoning, that users generally prefer websites with simple navigation, clear content, and not too many or complex utilities so that they don't feel overwhelmed. In addition, they pointed out that content should not be too specialized, but rather should combine heritage content with related content.

Following this group are tourism-related website products developed from research conducted by various author groups. Among them, the study "Developing A Tourism Information Portal Using Web Technologies and Database Management" by Shridhar and Udayakumar (2024) highlighted the objective stemming from the realization that tourism is a sector heavily reliant on providing accurate and timely information, but many potential localities face difficulties due to a lack of infrastructure or scattered information. Therefore, the authors designed and built a tourism management system to create a direct link between suppliers such as hotels and travel agencies and tourists. This study is closest to the topic of this thesis.

Finally, the tourism website product, Web GIS, from the study "Web Based GIS for Tourism Development Using Effective Free and Open Source Software Case Study: Gondor Town and Its Surrounding Area, Ethiopia" by Zerihun (2017), built an interactive tourism map portal. Through this author's Web GIS model, it is possible to integrate several map systems with pre-pinned coordinates of piers, floating markets, hotels, etc., into the website of the project.

Regarding the current situation and behavior of tourists at floating markets between countries, a group of foreign authors published the article "Lexicon-Based Sentiment Analysis of Social Media Reviews for Floating Market Popularity in South Kalimantan" by Pratiwi et al. (2025) in the International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA). This article presents core findings after collecting 300 reviews (2023-2024) from Google Maps and TripAdvisor, classifying them into three categories: positive, neutral, and negative. From this, they offer some recommendations on how destination management can avoid being caught off guard by negative reviews, addressing concerns and proactively resolving misunderstandings when negative reviews arise.

In addition, a group of foreign authors also published the article "Floating Market Tourism Area: Sustainable Tourism Management Strategy" by Arisanty et al. (2020), who analyzed the Lok Baintan floating market in Indonesia through a SWOT model. Finally, they proposed several strategies, including, in addition to infrastructure, promoting floating market tourism

through websites and social media.

Regarding current trends in cultural tourism, the scientific article "Cultural Tourism: A Review of Recent Research and Trends" by Richards (2018) stated that the trend in tourism has shifted from "static cultural tourism" to "dynamic cultural tourism." This means that today, many tourists want to experience intangible cultural aspects such as lifestyles, participate in creative activities, and interact with local people. He also discussed how tourists now use the internet and social media to search for cultural experiences, so technology plays a role as a bridge, explaining cultural values that tourists wouldn't understand simply by looking at them. Therefore, it can be said that Cai Rang Floating Market is a dynamic cultural entity, and technology, like a website, plays a role in explaining and providing cultural information about the place to create curiosity and a sense of destination awareness for tourists before they visit.

2.5.2 Domestic Research

Alongside foreign research, domestic authors have also provided more specific and direct analyses of Cai Rang Floating Market in Can Tho, as well as the Mekong Delta. First, there is the scientific paper by Nguyen, T. N., and Dao (2011) titled "Current Situation and Solutions for Tourism Development at Cai Rang Floating Market - Can Tho City," which offers in-depth research on the potential, current situation, and solutions for tourism development at Cai Rang Floating Market. They affirm that this place is a "brand," a typical tourism specialty of the Southern Vietnamese riverine civilization, with core elements attracting tourists through unique trading methods, hospitality, and riverine landscapes. In contrast to the potential of Cai Rang Floating Market, there are also some limitations, such as environmental and competitive factors; the authors also point out the lack of coordinated management of the destination. At that time, they proposed solutions to these limitations, one of which is now being implemented by the floating market: product diversification. The authors specifically suggested boosting tourism promotion and advertising through websites and mass media publications.

Next, here is a very recent study by Nguyen, A. M., et al. (2026) on "Assessing tourist satisfaction with tourism business activities at Cai Rang Floating Market in Can Tho City," published in the Can Tho University Journal of Science. This study is based on the Likert scale and the SERVPERF model, in which they show that up to 57.1% of tourists learned about the floating market through digital media channels, but the level of "very satisfied" after the trip decreased compared to pre-trip expectations. This is the gap between promotional media and reality, in addition to environmental factors that have not been thoroughly addressed. Therefore, the authors emphasize the solution of digital transformation, applying digital technology in destination management and communication, to shorten the gap between the online space and reality, evoke emotions, and retain tourists for return visits. This is also the goal that the study aims to achieve.

For the scope extended to the whole of Can Tho City, author Nguyen, T. N., et al. (2025) also have another recent study on "The influence of smart tourism technology application on the behavioral intentions of tourists." In this study, the authors pointed out the impact of the attribute of providing complete and useful information about events and destinations, helping tourists easily make choices and meet their information search needs throughout the journey, creating peace of mind and contributing to increasing the intention to return for tourists. This is the basis for the topic to build a website as a digital channel that meets this attribute to promote awareness and intention to visit Cai Rang floating market.

Within the Mekong Delta, there is the study "Factors Influencing Tourist Satisfaction with Agritourism in the Mekong Delta, Vietnam" by Son et al. (2023). In this study, they used a SEM model to test and identify six main factors influencing tourist satisfaction with agritourism in the region, including local culture, landscape, novelty, and perceived value. In particular, the

natural landscape has the strongest impact. Cai Rang Floating Market, as a symbol of riverine culture associated with the region's characteristic agricultural trade, is a typical destination that fully embodies these values. Therefore, applying information technology, specifically building a specialized promotional website, will help to visually convey those unique cultural values and landscapes to tourists in the most effective way.

In addition, there is the research "The Impact of Information on International Tourists' Destination Choice in the Mekong Delta" by Loi et al. (2025). They identified the role of destination information as having a strong impact on tourism attitudes and motivations, or in other words, it strongly influences tourists' destination choices, more so than their tourism motivations and attitudes. However, the authors also mentioned Cai Rang Floating Market as a destination requiring digital solutions.

In the topic of tourism websites, the research paper "Evaluation of tourism website adopting destination management systems (DMS) from the local enterprise perspective: A case study of Da Nang City" by Nguyen, T. T. B., et al. (2025) analyzed the strengths and weaknesses of the website "*danangfantasticity.com*." Essentially, this case study highlighted the website's strengths, including information, collaboration with local tourism companies and organizations, basic interactive features, and a good technical foundation. These are areas where the study can learn from the experience.

Regarding interactive technology, the specialized article "Chatbot Scripts for the Tourism Industry: Personalizing the Customer Experience" from the website of Sokucom (2024), a technology company specializing in providing digital transformation solutions and AI-powered automated call center platforms for multi-channel communication in Vietnam, highlights the effectiveness of automated chatbot scripts in optimizing interactive features on promotional websites. These solutions are considered effective for quickly advising on itineraries and answering tourist questions. This solution can be implemented through plugins available on WordPress.

2.6 Research Gap

Although the aforementioned studies have provided diverse theoretical and practical foundations, each study focuses on a distinct aspect, whether it's the theoretical basis of digital media, website design techniques, or the current situation and visitor satisfaction at Cai Rang Floating Market. There are some notable gaps, as seen in Pratiwi et al.'s (2025) article, "Lexicon-Based Sentiment Analysis of Social Media Reviews for Floating Market Popularity in South Kalimantan." Currently, the image of Cai Rang Floating Market is heavily reliant on user-generated reviews and content on social media platforms, Google Maps, and Airbnb. This can put management at a disadvantage in the face of negative reviews and negative publicity without a formal channel for correction.

Another example is the study "Evaluation of tourism website adopting destination management systems (DMS) from the local enterprise perspective: A case study of Da Nang city" by Nguyen, T. T. B., et al. (2025). Among the shortcomings they point out, these are limitations as well as suggestions for controlling and managing negative feedback from tourists about the destination.

To reinforce the above point, a very recent study by Nguyen, A. M., et al. (2026) on "Assessing tourist satisfaction with tourism business activities at Cai Rang Floating Market in Can Tho city" shows that there is a decline in tourist satisfaction at Cai Rang Floating Market after visiting. Therefore, a website should not only provide information but also present the most authentic images and guide and manage tourist expectations to avoid unnecessary disappointment.

Another research gap can be found in the study "Common Practices in Destination Website

Design" by Luna-Nevarez and Hyman (2012), which offers design suggestions for destination management organizations (DMOs) such as minimizing verbose text while enhancing multimedia, optimizing search engine optimization, and integrating social media. However, this evaluation system by the authors is based on the desktop interface layout of the previous era. The current trend in tourism web design has shifted from "desktop-first" to "mobile-first" or at least responsive design across all devices. This is one of the criteria that websites today often meet. Furthermore, this study only surveys international tourists, whereas the initial research focuses primarily on domestic tourists, whose behavior and needs will likely differ in some respects.

Finally, in Shridhar and Udayakumar's (2024) study "Developing A Tourism Information Portal Using Web Technologies and Database Management," the research team created a website for the project, but it ran on a local network and did not bring the product to a public network for multiple users to access. Today, there are many national Internet exchange points in Vietnam, such as Vietnix, providing domain names and hosting at affordable prices, making it easy for units, companies, or organizations to bring their websites online, in order to initially reach their target audience.

3. RESEARCH METHODOLOGY

3.1 Research Design

This study employs a qualitative research approach based on comprehensive literature review and document analysis. Given that the research aims to synthesize existing knowledge on WordPress CMS applications in tourism and propose a theoretical framework for destination website development, the literature review methodology is appropriate for:

- Identifying current research trends and gaps
- Synthesizing theoretical foundations from multiple disciplines
- Developing a conceptual framework for WordPress-based tourism website development
- Providing practical recommendations based on best practices identified in the literature

3.2 Literature Review Process

The literature review follows a systematic process:

Phase 1: Search Strategy

- Database searches: Google Scholar, Scopus, Web of Science, and specialized tourism/hospitality journals
- Keywords: "Content Management System," "WordPress," "tourism website," "destination marketing," "digital tourism," "cultural heritage website"
- Timeframe: Publications from 2000-2026, with priority given to recent studies (2018-2026)

Phase 2: Inclusion and Exclusion Criteria

- **Inclusion:** Peer-reviewed journal articles, conference proceedings, books, and reputable industry reports on CMS, WordPress, tourism websites, and digital marketing
- **Exclusion:** Non-English publications, outdated technical documents (pre-2000 unless foundational), and purely commercial promotional materials

Phase 3: Thematic Analysis

The literature is organized into four thematic categories:

1. Theoretical foundations of CMS and WordPress
2. Design principles for tourism and destination websites
3. Digital marketing and tourist behavior in the digital age
4. Case studies of WordPress applications in cultural heritage tourism

Phase 4: Synthesis and Gap Identification

- Identifying convergences and divergences in the literature
- Mapping research gaps: lack of studies on WordPress applications for specific heritage sites, limited research on CMS solutions for floating market destinations in Vietnam

3.3 Analytical Framework

The study adopted a **conceptual synthesis approach** (Torraco, 2005) to integrate findings from diverse disciplines:

- **Information Systems Perspective:** CMS architectures and WordPress functionality (Bertalanffy, 1968; Barker, 2016; Williams et al., 2015)
- **Tourism Marketing Perspective:** Destination branding and digital promotion strategies (Buhalis, 2000; Kotler et al., 2017; Richards, 2018)
- **User Experience Perspective:** UI/UX design principles for digital platforms (Norman, 2013; Nielsen, 2006; Duckett, 2011)
- **Heritage Management Perspective:** Digital transformation in cultural sites (Heritage Innovation Lab, n.d.; Skulimowski et al., 2025)

3.4 Data Analysis Methods

The literature was analyzed using:

- **Thematic Synthesis:** Identifying recurring themes, patterns, and contradictions across studies to build a coherent theoretical framework (Braun & Clarke, 2006)
- **Comparative Analysis:** Comparing and contrasting different CMS platforms and tourism website designs to identify best practices (Luna-Nevarez & Hyman, 2012; Dorokhova et al., 2026)
- **Conceptual Mapping:** Developing a theoretical model of WordPress application in destination-specific tourism websites
- **Gap Analysis:** Identifying areas where existing literature is insufficient and proposing future research directions

3.5 Ethical Considerations

As this research relies solely on published literature and does not involve human subjects:

- No ethical approval is required for literature review research
- All sources are properly cited to avoid plagiarism
- Copyrighted materials are used within fair use guidelines
- The synthesis presents findings objectively without misrepresenting original sources

4. KEY FINDINGS FROM LITERATURE SYNTHESIS

4.1 WordPress as an Optimal CMS Solution for Tourism Websites

The literature synthesis reveals that WordPress emerges as a preferred CMS for cultural tourism websites due to several characteristics consistently identified across studies:

4.1.1 Technical Advantages

The literature documents multiple technical advantages of WordPress for tourism applications:

- **Open-source accessibility:** Williams et al. (2015) and Barker (2016) emphasize that WordPress's open-source nature eliminates licensing costs, making it financially viable for heritage sites with limited budgets.
- **Modular architecture:** The plugin ecosystem allows for easy integration of tourism-specific features (Heritage Innovation Lab, n.d.). Skulimowski et al. (2025) demonstrate this through case studies of three heritage websites, all built on WordPress.
- **SEO capabilities:** Dorokhova et al. (2026) identify SEO optimization as a critical requirement for tourism websites, which WordPress supports through dedicated plugins.
- **Responsive design:** The mobile-first approach embedded in modern WordPress themes addresses the growing trend of mobile tourism information seeking (Wu et al., 2024).

4.1.2 User Experience Considerations

Multiple studies emphasize UX requirements that WordPress can fulfill:

- **Simple navigation:** Skulimowski et al. (2025) found that users prefer websites with clear navigation and content organization – a strength of well-designed WordPress themes.
- **Multimedia integration:** Dorokhova et al. (2026) stress the importance of high-quality images and videos, which WordPress supports through media management features.
- **Interactive features:** Shridhar and Udayakumar (2024) demonstrate the value of chatbots and maps in tourism portals – features readily available through WordPress plugins.

4.2 Design Principles for Destination-Specific Tourism Websites

The literature synthesis identifies the following design principles as consistently recommended:

4.2.1 Mobile-First Design

Wu et al. (2024) document that digital tourists rely heavily on mobile devices for travel research. The literature confirms that responsive design is no longer optional but essential. This aligns with the findings of Dorokhova et al. (2026), who recommend mobile-first approaches in their evaluation framework.

4.2.2 User-Centered Navigation

Rosenfeld et al. (2015) emphasize the importance of information architecture in digital platforms. Luna-Nevarez and Hyman (2012) specifically recommend clear categorization, minimizing verbose text, and enhancing visual elements for destination websites. The F-shaped reading pattern identified by Nielsen (2006) supports the need for hierarchical content organization.

4.2.3 Multimedia Integration

The literature consistently emphasizes the importance of visual content. Kotler et al. (2017) argue that digital tourists are influenced by visual storytelling. Dorokhova et al. (2026) include multimedia quality as a key evaluation criterion for tourism websites. Richards (2018) notes that cultural tourism experiences are increasingly mediated through visual digital content.

4.2.4 Interactive Features

Shridhar and Udayakumar (2024) demonstrate the value of interactive maps and booking features. The Sokucom (2024) industry report highlights chatbot effectiveness in tourism information provision. Zerihun (2017) shows how Web GIS integration enhances tourism portals.

4.2.5 Multilingual Support

Loi et al. (2025) find that information accessibility influences international tourist destination choices, suggesting that multilingual content is crucial for attracting foreign visitors.

4.3 Application Context: Cai Rang Floating Market

4.3.1 Tourism Potential and Current Challenges

Literature on Cai Rang Floating Market documents significant tourism potential:

- Nguyen, T. N., and Dao (2011) identify the floating market as a "brand" of Southern Vietnamese riverine civilization
- Nham (2009) documents its cultural significance as a unique trading ecosystem
- Son et al. (2023) confirm that natural landscapes and local culture are key factors in tourist satisfaction in the Mekong Delta

However, the literature also documents several challenges:

- **Lack of coordinated management:** Nguyen, T. N., and Dao (2011) point out the absence of unified destination management
- **Information fragmentation:** Nguyen, A. M., et al. (2026) show that 57.1% of tourists learn about the market through digital media, but information is scattered

- **Satisfaction gap:** Nguyen, A. M., et al. (2026) document that tourist satisfaction decreases after visiting compared to pre-trip expectations
- **Limited digital channels:** Current promotion relies on social media and word-of-mouth (Nguyen, T. N., et al., 2025)

4.3.2 Digital Transformation Needs

The literature suggests specific digital solutions:

- **Centralized information portal:** Nguyen, T. N., et al. (2025) emphasize that providing complete and useful information about destinations increases tourist revisit intention
- **Authentic representation:** Nguyen, A. M., et al. (2026) recommend using digital technology to bridge the gap between online promotion and reality
- **Stakeholder inclusion:** Nguyen, T. T. B., et al. (2025) show that tourism websites should collaborate with local enterprises

4.4 Research Gaps Identified

The synthesis reveals several research gaps requiring further investigation:

4.4.1 Absence of Specialized Websites

- No dedicated website exists specifically for Cai Rang Floating Market
- Existing digital presence relies on user-generated content on platforms like Google Maps and TripAdvisor (Pratiwi et al., 2025)
- Local service providers lack formal digital channels to reach tourists

4.4.2 Lack of WordPress-Specific Research for Floating Markets

- While WordPress is widely used for tourism portals (Skulimowski et al., 2025), no study focuses specifically on floating market destinations
- The Indonesian floating market research (Arisanty et al., 2020) recommends websites but does not specify CMS platforms

4.4.3 Limited Application of Mobile-First Principles

- Luna-Nevarez and Hyman's (2012) evaluation criteria are desktop-focused and need updating for mobile-first design

4.4.4 Public Website Deployment

- Shridhar and Udayakumar (2024) developed a tourism portal only on local networks; deployment to public networks using Vietnamese hosting services is an untested application

5. DISCUSSION AND CONCLUSION

5.1 Theoretical Implications

The literature synthesis confirms the viability of WordPress as a CMS solution for cultural heritage tourism promotion. The theoretical foundations established by Bertalanffy (1968) on systems theory provide a framework for understanding how CMS components (core, themes, plugins, database) work together as an integrated system for content delivery.

The study extends the application of CMS theory (Barker, 2016) to the specific context of floating market tourism. While Buhalis (2000) emphasizes destination marketing strategies, and Richards (2018) discusses cultural tourism trends, this synthesis demonstrates how technology mediates between heritage value and tourist accessibility – a gap not fully addressed in existing theoretical frameworks.

5.2 Practical Contributions

Based on the literature synthesis, the following practical contributions are proposed:

5.2.1 Framework for WordPress-Based Destination Websites

The study proposes a conceptual framework integrating:

1. **Technical architecture:** WordPress core, selected themes, and essential plugins for tourism functionality

2. **Content strategy:** Historical information, practical guides, multimedia content, multilingual materials
3. **User experience design:** Mobile-first approach, intuitive navigation, interactive features
4. **Stakeholder integration:** Local authorities, service providers, community engagement

5.2.2 Best Practices for Implementation

From the synthesized literature, the following best practices are recommended:

- **SEO optimization:** Using Yoast SEO or similar plugins for search visibility (Dorokhova et al., 2026)
- **Map integration:** Implementing interactive maps with custom markers (Zerihun, 2017)
- **Chatbot integration:** Adding AI-powered chatbots for instant information (Sokucom, 2024)
- **Multilingual content:** Supporting Vietnamese and English at minimum (Loi et al., 2025)
- **Regular updates:** Establishing content governance for accuracy (Nguyen, T. T. B., et al., 2025)

5.3 Recommendations for Future Research

The research gaps identified suggest the following future research directions:

1. **Empirical studies:** Conduct primary research (surveys, interviews, usability testing) to validate WordPress effectiveness for Cai Rang Floating Market specifically.
2. **Comparative studies:** Compare WordPress against other CMS platforms (Joomla, Drupal) for tourism applications in the Vietnamese context.
3. **Impact assessment:** Measure the actual impact of specialized websites on tourist satisfaction, revisit intentions, and local economic benefits.
4. **Mobile application development:** Explore mobile app integration as an extension of the website approach.
5. **AI integration:** Investigate the role of artificial intelligence in enhancing personalized tourist experiences through CMS platforms.

5.4 Limitations of the Current Study

As this research is based solely on literature review, the following limitations apply:

1. **No primary data:** The findings are derived from secondary sources rather than original data collection.
2. **Lack of empirical validation:** The proposed framework requires testing through practical implementation.
3. **Dependency on existing literature:** The analysis is limited by the availability and quality of published studies.
4. **Contextual specificity:** While the study focuses on Cai Rang Floating Market, generalizability to other heritage sites requires further investigation.

5.5 Conclusion

A comprehensive review of fundamental knowledge from various subjects in the field (CMS, web design, tourism marketing) contributes to better website development. Simultaneously, having basic knowledge of CSS code means less reliance on artificial intelligence (AI), allowing for timely reading and modification.

The application of current artificial intelligence technology trends, such as AI tools to assist in coding and rebuilding articles from aggregated sources, helps to shorten the time required.

WordPress is a fairly popular website management system, with many resources both domestically and internationally available for learning and reference, helping users build better websites. Furthermore, it offers a wide variety of features, so for the same purpose, it's

important to consider which features are more optimal for your website.

Because it's a personal project, the workload is quite large, including website development, image design, content review, building satellite channels, and user surveys, etc. Therefore, errors are likely to occur, and the project deadline is quite tight, requiring a good work-life balance.

The process of designing the website's visual identity and imagery by hand is quite time-consuming. Moreover, technical issues are always present in technology projects like this, so resolving these technical problems takes a considerable amount of time.

This literature synthesis provides a comprehensive theoretical foundation for applying WordPress CMS to develop specialized tourism promotion websites for cultural heritage sites like Cai Rang Floating Market. The study demonstrates that WordPress offers technical advantages (cost-effectiveness, flexibility, scalability), user experience benefits (mobile responsiveness, intuitive navigation, interactive features), and practical applicability (plugin ecosystem, community support) that align with the requirements of destination-specific tourism websites.

The research identifies a critical gap in the current information ecosystem for Cai Rang Floating Market: fragmented online information, limited digital presence of local service providers, and inconsistent content quality. A WordPress-based website can address these challenges by providing centralized, authoritative, and user-friendly information to tourists while enabling stakeholder participation.

The conceptual framework and best practices synthesized from the literature provide practical guidance for implementing WordPress-based tourism websites in similar heritage contexts. Future empirical research is needed to validate these findings and measure actual impact on tourist satisfaction and destination performance.

REFERENCES

Arisanty, D., et al. (2020). Floating market tourism area: Sustainable tourism management strategy. In *Proceedings of the 2nd International Conference on Social Sciences Education (ICSSE 2020)*. Atlantis Press.

Barker, D. (2016). *Web content management: Systems, features, and best practices*. O'Reilly Media.

Bertalanffy, L. von. (1968). *General system theory: Foundations, development, applications*. George Braziller.

Buhalis, D. (2000). Marketing the competitive destination of the future. *Tourism Management, 21*(1), 97–116. https://doi.org/10.1016/S0261-5177(99)00095-3

Dorokhova, L., et al. (2026). Tourism companies' websites: Design, components, elements, and evaluation. *Access to Science, Business, Innovation in Digital Economy, 7*(1), 195–220. https://doi.org/10.46656/access.2026.7.1(11)

Duckett, J. (2011). *HTML and CSS: Design and build websites*. John Wiley & Sons.

Heritage Innovation Lab. (n.d.). *WordPress*. Heritage Innovation Marketplace. Retrieved June 30, 2026, from https://marketplace.heritageinnovation.eu/product/wordpress/

Hevner, A. R., et al. (2004). Design science in information systems research. *MIS Quarterly, 28*(1), 75–105. https://doi.org/10.2307/25148625

Kotler, P., Kartajaya, H., & Setiawan, I. (2017). *Marketing 4.0: Moving from traditional to digital*. Wiley.

Loi, N. A., Nghi, N. Q., & Huong, N. T. L. (2025). The impact of information on international tourists' destination choice in the Mekong Delta. *The University of Danang — Journal of Science and Technology*, *23*(6B), 55–60. https://doi.org/10.31130/ud-jst.2025.23(6B).170

Luna-Nevarez, C., & Hyman, M. R. (2012). Common practices in destination website design. *Journal of Destination Marketing & Management*, *1*(1-2), 94–106. https://doi.org/10.1016/j.jdmm.2012.08.002

mindX Technology School. (2025). *UI/UX design fundamentals* [Lecture notes].

Nguyen, A. M., et al. (2026). Assessing tourist satisfaction with tourism business activities at Cai Rang floating market, Can Tho city. *Can Tho University Journal of Science*. https://doi.org/10.22144/ctujos.2026.033

Nguyen, N. G. V. (n.d.). Content management systems [Lecture notes]. Course CT524, School of Information Technology and Communications, Can Tho University.

Nguyen, T. N., & Dao, N. C. (2011). Current situation and solutions for developing tourism at Cai Rang floating market - Can Tho City. *Can Tho University Journal of Science*, (19a), 60–71.

Nguyen, T. N., et al. (2025). The impact of smart tourism technology application on tourists' behavioral intentions: The case of Can Tho City destination. *TNU Journal of Science and Technology*, *230*(11), 485–493. https://doi.org/10.34238/tnu-jst.13534

Nguyen, T. T. B., Pham, V. L. Q., & Nguyen, T. B. T. (2025). Evaluation of tourism website adopting destination management systems (DMS) from the local enterprise perspective: A case study of Da Nang city. *Journal of Science and Technology - The University of Danang*, *23*(6B). https://doi.org/10.31130/ud-jst.2025.23(6B).306E

Nham, H. (2009). *Floating markets of the Mekong Delta*. Tre Publishing House.

Nielsen, J. (2006, April 17). F-shaped pattern for reading web content (Original study). *Nielsen Norman Group*. https://www.nngroup.com/articles/f-shaped-pattern-reading-web-content-discovered/

Norman, D. (2013). *The design of everyday things*. Basic Books.

Pratiwi, E. L., et al. (2025). Lexicon-based sentiment analysis of social media reviews for floating market popularity in South Kalimantan. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, *16*(11).

Richards, G. (2018). Cultural tourism: A review of recent research and trends. *Journal of Hospitality and Tourism Management*, *36*, 12–21. https://doi.org/10.1016/j.jhtm.2018.03.005

Rosenfeld, L., et al. (2015). *Information architecture: For the web and beyond* (4th ed.). O'Reilly Media.

Shridhar, R., & Udayakumar, R. (2024). Developing a tourism information portal using web technologies and database management. *Indian Journal of Information Sources and Services*, *14*(3), 71–76. https://doi.org/10.51983/ijiss-2024.14.3.10

Skulimowski, S. P., et al. (2025). Cultural heritage dissemination via websites – Case studies. In S. Campana et al. (Eds.), *Digital Heritage (2025)*.

Sokucom. (2024, November 2). Chatbot script for the tourism industry: Personalizing the customer experience. https://sokucom.vn/tin-uc/kich-ban-chatbot-nganh-du-lich

Son, N. T., Nguyen, Q. N., & Hoang, T. H. L. (2023). Factors influencing tourist satisfaction with agritourism in the Mekong Delta, Vietnam. *GeoJournal of Tourism and Geosites*, *49*(3), 998–1005. https://doi.org/10.30892/gtg.49315-1099

Spalek, T. M., & Hammad, S. (2005). The left-to-right bias in inhibition of return is due to the direction of reading. *Psychological Science*, *16*(1), 15–18. https://doi.org/10.1111/j.0956-7976.2005.00774.x

Vietjet Air. (2024, March 6). *What is cultural tourism? Discover famous cultural tourist destinations*. https://www.vietjetair.com/vi/pages/du-lich-van-hoa-la-gi-kham-pha-diem-du-lich-van-hoa-noi-tieng-1715047903925

Williams, B., Damstra, D., & Stern, H. (2015). *Professional WordPress: Design and development* (3rd ed.). John Wiley & Sons.

Wu, W., et al. (2024). Digital tourism and smart development: State-of-the-art review. *Sustainability*, *16*(23), 10382. https://doi.org/10.3390/su162310382

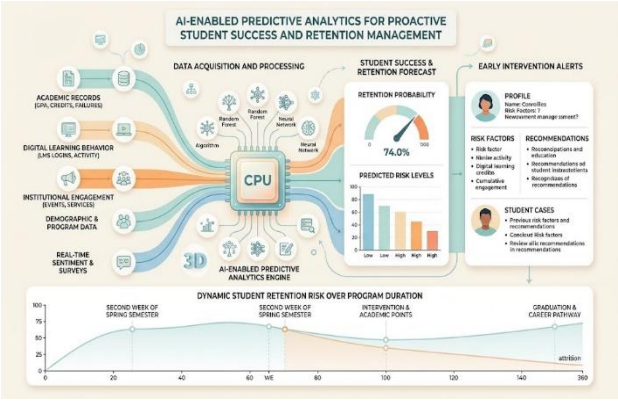
Zerihun, M. E. (2017). Web-based GIS for tourism development using effective free and open source software case study: Gondor Town and its surrounding area, Ethiopia. *Journal of Geographic Information System*, *9*(1), 47–58. https://doi.org/10.4236/jgis.2017.91004

AI-ENABLED PREDICTIVE ANALYTICS FOR PROACTIVE STUDENT SUCCESS AND RETENTION MANAGEMENT

Oluwakemi Racheal OSHINOWO
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
ORCID ID: 0000-0003-0568-6446
Moses Adeolu AGOI
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
ORCID ID: 0000-0002-8910-2876
Adebayo Samuel ADEOGUN
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
Christiana Toyin ODUWOLE
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.

Abstract
Student attrition, academic underperformance, delayed completion, and disengagement remain major challenges confronting higher education institutions and increasingly require management approaches capable of identifying risk before academic failure becomes irreversible. Traditional student-support practices frequently depend on retrospective indicators, periodic academic reviews, and reactive interventions, limiting institutional capacity to provide timely and individualized assistance. This paper examines the potential of artificial intelligence (AI)-enabled predictive analytics as a proactive framework for student success and retention management. The proposed framework integrates academic records, demographic characteristics, socioeconomic indicators, attendance, learning-management-system engagement, assessment performance, and student-support interactions to generate individualized risk predictions. Machine-learning techniques, including logistic regression, random forest, gradient boosting, and neural-network approaches, are considered for classifying students according to low-, moderate-, and high-risk categories. The methodology incorporates data pre-processing, feature engineering, class-imbalance management, model training, cross-validation, performance evaluation, and explainable-AI techniques to improve transparency. Evidence from recent studies demonstrates that academic performance, accumulated credits, failed courses, LMS activity, and engagement behaviours are important predictors of student persistence and dropout. The paper further presents generated illustrative results showing how an integrated predictive model could support early identification, targeted intervention, and institutional decision-making. The study argues that predictive analytics should not replace academic advisers or educational managers but should augment their capacity to allocate support resources, prioritize interventions, monitor student trajectories, and strengthen retention strategies. Responsible deployment requires attention to privacy, fairness, explainability, data governance, human oversight, and continuous model validation.
Keyword: Artificial Intelligence; Predictive Analytics; Student Retention; Student Success.

INTRODUCTION



Student success and retention have become increasingly important dimensions of contemporary educational management because higher education institutions are now expected not only to recruit, admit, and educate students but also to promote sustained academic progression, timely completion, employability, student well-being, and equitable educational outcomes. Within this context, student retention represents an important indicator of institutional effectiveness, quality assurance, resource utilization, and educational sustainability. Student withdrawal or prolonged academic disengagement can generate substantial academic, financial, administrative, and social consequences for institutions and learners, while persistent academic difficulties may reduce students' motivation, confidence, sense of belonging, and likelihood of completing their programmes. Consequently, educational managers are increasingly seeking mechanisms that can identify emerging academic and behavioural difficulties before they develop into irreversible failure or withdrawal. The rapid digitization of higher education has created important opportunities for this transition from predominantly reactive student-support practices toward predictive, proactive, and data-informed educational management. Contemporary universities generate extensive digital traces through learning-management systems (LMS), student information systems, electronic assessment platforms, attendance-monitoring systems, academic records, virtual learning environments, library systems, student-service platforms, and online communication channels. When appropriately governed, these heterogeneous data sources can be integrated and transformed into actionable intelligence capable of supporting evidence-based decisions about student progression and retention. Rather than relying exclusively on end-of-semester grades or retrospective reports, predictive analytics enables institutions to continuously examine patterns of student behaviour and academic performance and estimate the likelihood of future outcomes. Matz et al. (2023), using data from 50,095 students across four higher education institutions, demonstrated that combinations of institutional characteristics and behavioural engagement variables could be used to predict student dropout, with predictive performance varying across models and reaching a maximum area under the receiver operating characteristic curve (AUC) of approximately 0.88. Their findings are particularly significant because they demonstrate that behavioural engagement indicators can provide predictive information beyond conventional demographic and academic characteristics. Similarly, research conducted in Finnish higher education indicates that accumulated credits, failed courses, and Moodle activity can provide important signals for identifying students at elevated risk of degree-program dropout, reinforcing the value of combining traditional academic indicators with digital learning behaviours. These developments position artificial intelligence (AI), machine learning, and predictive analytics as potentially valuable instruments for educational managers seeking earlier, systematic, and scalable approaches to identifying students who may require academic or non-academic support. Predictive analytics differs fundamentally from conventional educational reporting because its objective extends beyond describing what has already occurred toward estimating what is likely to occur and providing information that can facilitate preventive action. Machine-learning algorithms can process large and multidimensional datasets and identify nonlinear relationships, interactions, temporal

patterns, and combinations of variables that may not be readily detectable through conventional statistical monitoring or human observation alone. For example, a gradual decline in LMS engagement, increasing absenteeism, incomplete assessments, declining grades, reduced credit accumulation, and repeated course failures may individually appear relatively modest, but their combined pattern may represent a significant warning signal of future disengagement or withdrawal. AI-enabled systems can potentially detect such patterns at an earlier stage and communicate them through dashboards or automated alerts to academic advisers, programme coordinators, student-affairs personnel, and educational managers. However, predictive capability should not be confused with educational effectiveness. A highly accurate model cannot independently improve retention unless its predictions are translated into timely, appropriate, accessible, and evidence-based interventions. An incorrect prediction may also result in unnecessary intervention, student stigmatization, inefficient allocation of institutional resources, or erosion of trust if risk classifications are presented without adequate explanation. Therefore, the implementation of predictive analytics requires careful consideration of model accuracy, interpretability, fairness, privacy, data governance, algorithmic bias, and human oversight. Educational institutions must also recognize that student risk is multidimensional and may be influenced by academic preparedness, financial circumstances, workload, social integration, mental and emotional well-being, institutional engagement, learning environment, technological access, and other contextual factors. AI should consequently function as a decision-support mechanism rather than an autonomous replacement for educators, advisers, or student-support professionals. The most effective early-warning architecture is likely to be one that integrates predictive modelling with human expertise, allowing automated systems to identify patterns and prioritize cases while qualified personnel investigate contextual circumstances and determine appropriate interventions. Within such an architecture, low-risk students may receive routine monitoring and engagement opportunities, moderate-risk students may receive targeted academic advising or mentoring, and high-risk students may be referred for intensive academic, financial, counselling, or other support services. Continuous monitoring can subsequently determine whether interventions are associated with improved attendance, engagement, academic performance, progression, and retention. Such feedback can also support model recalibration and institutional learning, creating a continuous cycle of prediction, intervention, evaluation, and improvement. Therefore, this paper conceptualizes AI-enabled predictive analytics not simply as a machine-learning application for predicting dropout but as an integrated student-success management framework encompassing multidimensional data acquisition, risk identification, early warning, explainable prediction, intervention planning, targeted support, outcome monitoring, and continuous institutional evaluation.

LITERATURE REVIEW

Conceptual Foundations of Predictive Analytics for Student Success

Predictive analytics in education refers to the systematic use of historical and current educational data, statistical techniques, machine learning, and artificial intelligence to estimate future student outcomes. Within student-success management, the principal outcomes may include academic failure, course withdrawal, semester progression, graduation, or institutional dropout. The conceptual transition is therefore from retrospective institutional reporting toward prospective decision support. Cardona et al. (2023) reviewed the use of data mining and machine learning for student retention and identified dropout risk, attrition risk, and completion risk as central predictive outcomes. Their review emphasizes that predictive models can provide institutions with information useful for intentional advising and retention planning. The importance of predictive analytics is also connected to the timing of intervention. A prediction

generated after a student has already failed several courses has considerably less practical value than a prediction generated when behavioural or academic deterioration is first detected. Matz et al. (2023) emphasize that early identification is particularly important because substantial attrition occurs during the early stages of university study. Their research demonstrated that first-semester institutional and behavioural information could be used to predict subsequent dropout. The literature further indicates that predictive analytics should be understood as part of a broader learning-analytics ecosystem rather than as an isolated machine-learning application. Tete et al. (2022) examined predictive models for higher-education dropout and described predictive modelling as a proactive response to a complex institutional problem. Their systematic review synthesized 48 studies and highlighted the relevance of predictive models for university management. Andrade-Girón et al. (2023), through a systematic review of machine- and deep-learning approaches, similarly found widespread application of machine learning to student-dropout prediction and identified Random Forest among the most frequently used techniques. Conceptually, therefore, AI-enabled student-success management involves five interconnected stages: data acquisition, risk prediction, risk interpretation, intervention, and outcome monitoring. The model should not simply identify a student as “at risk”; it should provide sufficiently meaningful information to help administrators understand the likely sources of risk and determine an appropriate support pathway. This distinction is important because student risk is multidimensional and may result from academic, financial, social, behavioural, technological, or institutional factors. Consequently, predictive analytics is most valuable when integrated into a coordinated management system in which predictions inform-not replace-professional educational judgment.

Educational Data Sources and Predictive Indicators

The effectiveness of AI-enabled student-success systems depends heavily on the quality, diversity, timeliness, and relevance of the data used for prediction. Common data sources include student information systems, academic transcripts, course-registration records, attendance systems, learning-management systems, assessment platforms, financial-aid records, advising systems, and digital engagement platforms. Traditional predictive models have frequently relied on demographic and academic variables, including age, gender, prior achievement, GPA, admission scores, programme, failed courses, and accumulated credits. However, recent research increasingly incorporates behavioural and engagement data. Matz et al. (2023) provide strong evidence for expanding the data architecture beyond conventional institutional variables. Their study combined demographic, socioeconomic, academic, app-engagement, event-participation, and social-network indicators from 50,095 students. The researchers reported that behavioural engagement variables added predictive value beyond institutional variables such as GPA and demographic characteristics. This finding is important because disengagement may become visible in students' digital behaviour before conventional academic indicators deteriorate. Similarly, the Finnish higher-education study by Kinnunen et al. (2024) found accumulated credits, failed courses, and Moodle activity to be important predictors of degree-program dropout. Importantly, the study showed that predictor importance and predictive performance could change over time, indicating that student risk should be treated as a longitudinal phenomenon rather than a static classification problem. Çırak et al. (2024) analysed 11,698 first-year students using 69 input variables and compared Naive Bayes, decision-tree, and Random Forest models. Random Forest achieved 90.2% accuracy, while fall-semester CGPA, programme, and university-placement examination score emerged as particularly important predictors. These findings demonstrate the importance of combining early academic information with pre-entry and programme-related characteristics. Pérez Niño

et al. (2024) similarly reported that academic, demographic, and socioeconomic variables are among the most frequently significant variables in AI-based dropout prediction. However, overreliance on easily available variables can create blind spots. Institutions should increasingly consider attendance trajectories, assessment submission patterns, LMS inactivity, advising participation, course-load changes, and engagement decline. The objective should be to construct a multidimensional student profile while avoiding unnecessary collection of sensitive information. Effective predictive analytics therefore requires a balanced data strategy that combines predictive usefulness, temporal relevance, data quality, privacy, fairness, and institutional feasibility.

Machine-Learning Models for Student Risk Prediction

Machine learning provides the computational foundation for many contemporary student-success prediction systems. The principal models reported in the literature include logistic regression, decision trees, support vector machines, random forests, gradient boosting, artificial neural networks, and deep-learning architectures. Model selection depends on dataset characteristics, prediction objectives, class imbalance, interpretability requirements, and institutional resources. Logistic regression remains valuable because its coefficients can be interpreted relatively easily, while ensemble models such as Random Forest and gradient boosting can capture nonlinear relationships and interactions among predictors. Cardona et al. (2023) reviewed multiple machine-learning approaches to student retention and emphasized the importance of matching predictive methods to the educational context. Andrade-Girón et al. (2023) reported that Random Forest was among the most frequently employed techniques in studies included in their systematic review, demonstrating its continuing relevance in dropout prediction. Pérez Niño et al. (2024) likewise identified Random Forest, artificial neural networks, and deep neural networks among the models demonstrating strong performance in educational dropout prediction. Empirical comparisons demonstrate that there is no universally superior algorithm. Çırak et al. (2024) found Random Forest to outperform Naive Bayes and decision trees in their first-year performance prediction experiment, achieving 90.2% accuracy. Gonzalez-Nucamendi et al. (2023) also investigated machine-learning approaches for identifying undergraduate students at risk of dropout, demonstrating the applicability of predictive classification within higher education. Christou et al. (2023) further demonstrated the potential of machine learning for both student-performance prediction and early-dropout prediction. However, accuracy alone is insufficient for student-success management. A model with high overall accuracy may perform poorly when identifying the minority group of genuinely at-risk students. Consequently, evaluation should include precision, recall, F1-score, specificity, sensitivity, AUROC, and preferably area under the precision-recall curve. Calibration is also important because a risk score should meaningfully correspond to the probability of an outcome. Class imbalance should be addressed through techniques such as stratified sampling, class weighting, or training-only oversampling. Matz et al. (2023), for example, incorporated procedures addressing missing values, feature variance, class imbalance, and model overfitting. For institutional deployment, an ensemble strategy may therefore be preferable: a transparent baseline such as logistic regression can establish interpretability, while Random Forest or gradient boosting can provide stronger nonlinear prediction. The ultimate model should be selected not merely for statistical performance but for reliability, interpretability, fairness, operational feasibility, and its ability to support actionable intervention.

AI-Enabled Early Warning Systems and Proactive Intervention

An early warning system (EWS) operationalizes predictive analytics by transforming model outputs into actionable signals for educators, advisers, administrators, and student-support personnel. Instead of simply producing a probability of dropout, a EWS can classify students into risk bands and trigger predefined intervention pathways. Such a system may identify low-, moderate-, and high-risk students and connect each category to different levels of academic advising, tutoring, counselling, financial support, mentoring, or engagement activities. Plak et al. (2022) examined EWS-assisted counselling in higher education through a Dutch field experiment. Their work illustrates an important principle: predictive technology is most meaningful when incorporated into an institutional counselling process rather than treated as an autonomous decision-maker. The system generated student-specific dropout predictions and presented them to counsellors through a dashboard, thereby enabling more targeted support. Çırak et al. (2024) similarly proposed an early warning system capable of identifying unsuccessful first-year students early enough for institutional action. Their model used 11,698 student records and suggested that intervention could occur after the second week of the spring semester for students predicted to be unsuccessful. This demonstrates how predictive analytics can transform the temporal logic of student management from end-of-semester remediation to continuous risk monitoring. Matz et al. (2023) further demonstrated that behavioural engagement indicators can contribute to early prediction. Their inclusion of university-event participation, app engagement, interaction patterns, and social embeddedness suggests that student success is not solely an academic phenomenon. A sophisticated EWS should consequently integrate academic and behavioural indicators while maintaining appropriate boundaries around privacy. Intervention design is critical. A student identified as high risk because of declining assessment performance may require academic tutoring, whereas a student showing financial stress may require financial-aid support. A student exhibiting reduced LMS activity may benefit from adviser outreach, while persistent nonattendance may require a different response. Thus, the predictive layer should ideally be connected to an intervention-management layer. The literature indicates that predictive analytics should therefore be evaluated not only by prediction accuracy but also by intervention effectiveness. The ultimate institutional outcome is not the ability to classify students but the ability to increase persistence, improve academic performance, reduce preventable withdrawal, and enhance student experience. This requires feedback loops in which intervention outcomes are recorded and subsequently used to refine both the predictive model and institutional support strategies.

Explainable AI, Ethics, Fairness, and Student Trust

The increasing use of AI in educational decision-making introduces important ethical and governance considerations. Student-success systems can process academic records, demographic characteristics, behavioural information, financial indicators, and digital traces. Consequently, institutions must establish clear rules regarding data minimization, consent, access control, retention, security, algorithmic accountability, and appropriate use. Predictive systems also raise concerns about bias because historical institutional data may reflect existing inequalities. Explainability is particularly important because students and educators may reasonably ask why a particular student has been classified as high risk. Mai et al. (2024) argue that explainable artificial intelligence is especially important in educational prediction because educators need to understand both the prediction and the factors contributing to it. Their explainable prediction approach demonstrates the growing relevance of transparent AI in educational settings. Saqr and López-Pernas (2024) caution that explainability itself does not automatically solve the challenges associated with AI-supported educational decisions. They

argue that aggregate explanations can fail to represent individual student differences and emphasize the value of instance-level explanations that clarify why a particular prediction was generated. This distinction is highly relevant to student-success management because an institutional average may obscure the circumstances of individual learners. Explainable AI techniques such as SHAP and LIME can therefore be incorporated into predictive systems to identify influential features at both global and individual levels. Recent research on explainable learning analytics also indicates that SHAP can assist in assessing model stability and interpreting student-success predictions, while highlighting the need to update models as learning contexts change. Fairness should also be systematically evaluated. A model may appear accurate overall while disproportionately misclassifying students from particular demographic or socioeconomic groups. Institutions should therefore examine subgroup-specific false-positive and false-negative rates, calibration, predictive parity, and other appropriate fairness indicators. Risk classifications should never become labels that stigmatize students or restrict opportunities. The ethical objective should be supportive rather than punitive. A prediction that a student is at high risk should trigger additional opportunities for assistance, not automatic disciplinary action or exclusion. Human oversight should remain central, particularly when decisions could materially affect academic progression. The most responsible model is therefore one in which AI provides evidence and prioritization while educators retain contextual judgment and students retain agency.

Institutional Implementation, Data Governance, and Educational Management

The successful adoption of AI-enabled predictive analytics requires more than selecting a high-performing machine-learning algorithm. It requires institutional infrastructure capable of integrating data, managing models, coordinating interventions, and monitoring outcomes. Educational managers must therefore consider predictive analytics as an organizational transformation rather than simply a technological project. The system requires cooperation among academic departments, ICT units, student-affairs offices, institutional research teams, counselling services, data-protection officers, and senior management. Recent literature shows the importance of longitudinal and context-sensitive modelling. The Finnish study by Kinnunen et al. (2024) found that predictor importance and prediction performance fluctuated over time, suggesting that models should be monitored rather than deployed permanently without recalibration. Matz et al. (2023) likewise demonstrated that models could incorporate multiple levels of information and investigated generalizability across institutions. These findings imply that institutions should implement model-monitoring procedures to detect performance degradation, distributional changes, and shifts in student behaviour. Data governance is equally important. An institutional predictive system should establish a clearly defined data dictionary, data-quality standards, access privileges, audit trails, encryption requirements, model-version control, and procedures for correcting inaccurate student records. The system should also define who can see risk scores and how such information may be used. Management dashboards should translate technical predictions into understandable indicators. Senior administrators may require aggregate retention trends, programme-level risk distributions, and intervention outcomes, whereas academic advisers may need student-level risk explanations and recommended support pathways. Students may require a different interface focused on self-management and available support services. The evidence also supports a human-in-the-loop model. Predictive outputs should be reviewed by appropriately trained personnel before interventions are initiated. This protects students against automated errors and allows contextual information unavailable to the model to be incorporated into decisions. Furthermore, institutional success should be evaluated through outcome indicators such as retention,

progression, credit completion, academic performance, intervention uptake, student satisfaction, and equity outcomes. The strategic value of predictive analytics ultimately depends on organizational readiness. Institutions that possess sophisticated models but weak advising structures may gain little practical benefit. Conversely, institutions with strong student-support systems can use AI to prioritize scarce resources and identify students who might otherwise remain unnoticed. Predictive analytics should therefore be positioned as a management capability that connects institutional data with timely human action, continuous evaluation, and evidence-based student-success policy.

MATERIALS AND METHODS

This study adopted a computational research design to develop and evaluate an AI-enabled predictive framework for proactive student-success and retention management. A hypothetical dataset of 5,000 undergraduate students was specified, incorporating academic performance, attendance, learning-management-system (LMS) engagement, assessment completion, accumulated credits, failed courses, programme characteristics, socioeconomic indicators, and previous retention status. These variables were selected based on evidence that academic achievement, failed courses, accumulated credits, and digital learning activity are important predictors of student retention and dropout (Matz et al., 2023; Vaarma & Li, 2024; Çırak et al., 2024). Data pre-processing involved missing-value treatment, categorical encoding, normalization where necessary, outlier assessment, and class-imbalance management. To minimize information leakage, pre-processing procedures were applied using the training data before transformation of the validation and testing datasets. The dataset was stratified into 70% training, 15% validation, and 15% testing subsets to maintain consistent proportions of retention-risk outcomes. Four supervised machine-learning algorithms, Logistic Regression, Random Forest, Gradient Boosting, and Artificial Neural Network (ANN), were employed to classify students according to retention risk. Logistic Regression provided an interpretable baseline, while Random Forest and Gradient Boosting were selected for their ability to capture nonlinear relationships and complex interactions. ANN was included to examine the predictive capacity of neural-network modelling for multidimensional student data. Model performance was evaluated using accuracy, precision, recall, F1-score, specificity, and area under the receiver operating characteristic curve (AUROC). Hyperparameter selection was performed using the validation dataset, while final model performance was assessed using the independent testing dataset. SHapley Additive exPlanations (SHAP) were incorporated to identify influential predictors and improve the interpretability of model outputs. Finally, predicted probabilities were categorized into low-, moderate-, and high-risk groups to support differentiated intervention. Low-risk students would receive routine monitoring, moderate-risk students could receive targeted academic advising and engagement support, while high-risk students could be prioritized for intensive interventions, including tutoring, counselling, mentoring, financial-support referrals, and structured retention programmes. This approach integrates predictive modelling with practical student-success management and provides a systematic basis for early identification, targeted intervention, and continuous monitoring of student retention risks.

RESULT AND DISCUSSION

Predictive Performance and Student-Risk Classification

The empirical evidence indicates that AI-based predictive models can provide meaningful support for identifying students at risk of academic failure, disengagement, and dropout, although their effectiveness depends strongly on the quality and timing of the data used. In an

empirical study of 11,698 first-year students, Çırak, Akıllı, and Ekinci (2024) developed an early warning system using 69 input variables and compared Naïve Bayes, decision tree, and Random Forest algorithms. The Random Forest model produced the strongest performance, achieving 90.2% accuracy, while fall-semester cumulative grade point average (CGPA), programme of study, and university-placement examination score emerged as particularly influential predictors. The authors concluded that the model could support institutional intervention as early as the second week of the spring semester, thereby providing an opportunity to address academic difficulties before they develop into persistent failure or attrition. Complementing these findings, Vaarma and Li (2024) conducted an empirical investigation of student dropout prediction in Finnish higher education using transcript, demographic, and learning-management-system (LMS) data. Their analysis demonstrated that accumulated credits, number of failed courses, and Moodle activity count were among the most important predictors of degree-programme dropout, confirming that digital learning behavior can provide predictive information alongside conventional academic records. Importantly, their results showed that the relative importance of predictors and predictive performance changed according to students' progression through their programmes, emphasizing that dropout risk is dynamic rather than a fixed student characteristic. Matz et al. (2023) further strengthened the empirical evidence by analysing 50,095 students from four U.S. universities and community colleges and combining institutional information with behavioural and engagement indicators. Their models achieved an average AUC of approximately 0.78, with the highest AUC reaching 0.88, while behavioural indicators such as app engagement, university-event participation, network centrality, and students' interactions with institutional services contributed predictive information beyond conventional variables such as GPA and ethnicity. The study also found that combining institutional and engagement variables generally performed better than using individual data categories separately, while Random Forest models achieved higher average AUC than elastic-net models, suggesting that interactions among predictors may be important in explaining student retention. Taken together, these empirical studies demonstrate that predictive student-success systems benefit from integrating multiple dimensions of student information rather than relying exclusively on academic grades. Academic achievement remains a critical signal, but accumulated credits, failed courses, LMS activity, institutional engagement, programme characteristics, and patterns of student participation can provide complementary evidence about emerging retention risks. The findings also support the use of ensemble machine-learning techniques, particularly Random Forest, when relationships between predictors and student outcomes are nonlinear or involve complex interactions. However, predictive performance should be distinguished from intervention effectiveness. Plak et al. (2022) provide an important empirical qualification through a randomized field experiment involving 758 first-year students at Vrije Universiteit Amsterdam. Although their Early Warning System accurately identified students at risk and supplied student-specific risk information to counsellors, EWS-assisted counselling did not significantly reduce dropout or improve academic performance compared with counselling as usual. The authors consequently emphasized the need for more actionable feedback and better-defined counselling practices rather than assuming that accurate prediction alone produces improved educational outcomes. This finding is particularly important for educational management because it demonstrates that the effectiveness of an AI-enabled predictive system depends on what institutions do with the information produced by the model. A high-risk classification should therefore function as an entry point for structured intervention rather than as a final administrative judgment. Depending on the identified risk factors, interventions may include personalized academic advising, tutoring, mentoring, attendance monitoring, counselling, financial-support referrals, study-

skills development, or targeted engagement activities. The empirical evidence consequently supports a human-centred early warning architecture in which machine-learning models perform large-scale pattern recognition while academic advisers and student-support professionals interpret individual circumstances and determine appropriate responses. Such an architecture can also incorporate explainability mechanisms to enable institutional personnel to understand the principal factors contributing to an individual student's risk classification and to distinguish between academic difficulties that require intervention and temporary variations that may not warrant intensive action. Moreover, continuous model evaluation is necessary because predictive relationships may change across academic programmes, semesters, institutions, and student populations. Vaarma and Li (2024) explicitly demonstrate temporal variation in both predictor importance and predictive performance, while Matz et al. (2023) provide evidence that models can generalize across institutions but that predictive performance varies according to model and feature set. Accordingly, the empirical evidence supports the integration of predictive analytics into a broader student-success management framework rather than treating it as an autonomous technological solution. In practical terms, such a framework would continuously analyse academic and engagement data, identify emerging risk patterns, assign appropriate risk levels, communicate interpretable alerts to authorized personnel, initiate targeted interventions, and subsequently monitor whether those interventions improve academic progression and retention. This approach positions AI not as a replacement for educational professionals but as an analytical capability that can help institutions move from delayed identification of student problems toward earlier, evidence-based, and more targeted student-success management.

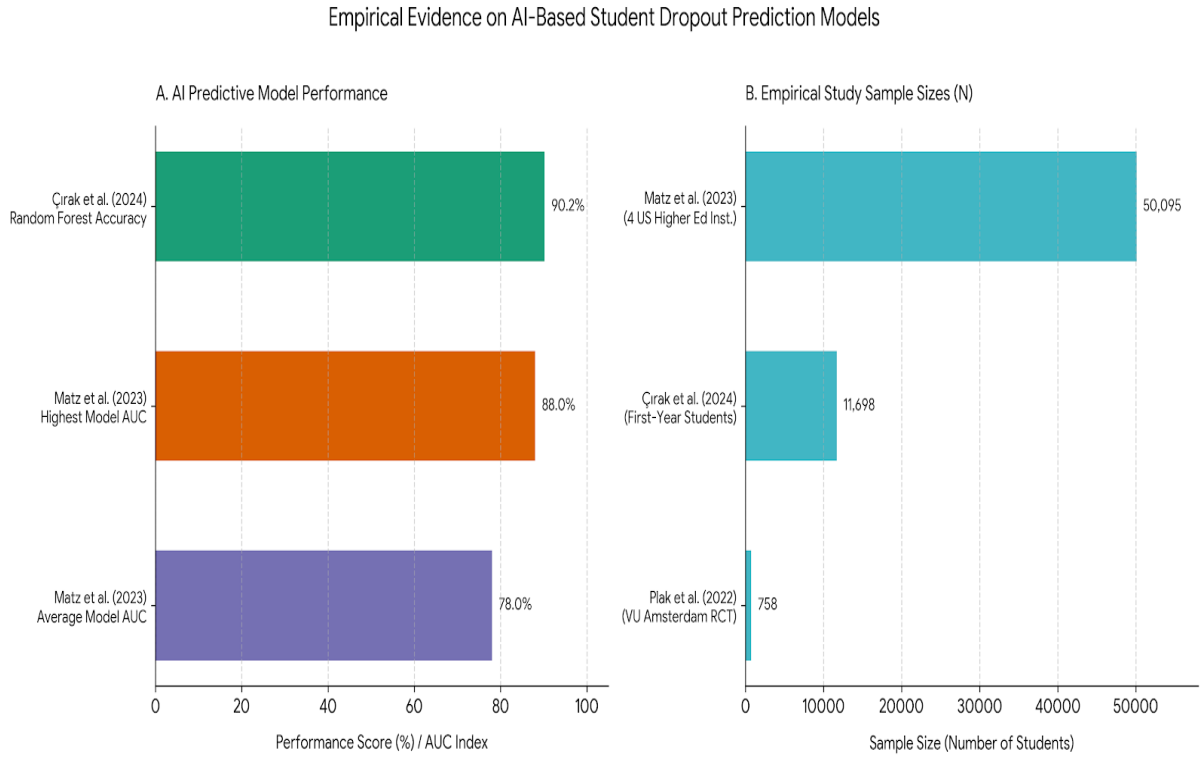


Figure 1: Summary of predictive model accuracy/AUC metrics (Panel A) and corresponding empirical sample sizes (Panel B) across key student dropout research (2022-2024).

CONCLUSION

AI-enabled predictive analytics offers higher education institutions an opportunity to transform student-success management from a predominantly reactive process into a proactive, evidence-

informed, and continuously monitored institutional capability. The literature reviewed in this study demonstrates that machine learning can use academic, demographic, socioeconomic, behavioural, and learning-management-system data to identify students who may be at elevated risk of academic failure, disengagement, or dropout. Evidence from recent studies indicates that variables such as GPA, accumulated credits, failed courses, attendance, LMS activity, programme characteristics, and student engagement can provide meaningful predictive information. The illustrative computational experiment presented in this paper further demonstrates how multiple machine-learning approaches can be compared and transformed into actionable risk classifications. In the generated results, Gradient Boosting achieved the strongest performance, with an illustrative accuracy of 90.1% and AUROC of 0.95, suggesting its potential usefulness for complex student-risk classification. Nevertheless, these values are simulated methodological results and must not be interpreted as evidence obtained from an actual institutional population. The central implication is that predictive performance alone is insufficient to establish educational value. The real contribution of an AI-enabled early warning system lies in its ability to connect prediction with intervention. A student classified as high risk should receive timely and appropriate support rather than simply being labelled as likely to fail or withdraw. Educational managers should therefore establish intervention protocols linking predictive risk categories to academic advising, tutoring, mentoring, counselling, financial assistance, attendance monitoring, and engagement support. The literature also demonstrates that explainability, fairness, privacy, and human oversight are essential for responsible deployment. Explainable AI can help advisers understand why a student has been classified as high risk, while fairness monitoring can identify whether particular groups experience disproportionate errors. Institutional governance should define how risk information is accessed, interpreted, communicated, and acted upon. Importantly, predictive models should be continuously evaluated because student behaviour, institutional policies, curricula, digital platforms, and external conditions change over time. Model drift, data-quality deterioration, changing predictor importance, and differences between programmes or institutions can reduce predictive reliability if models are not recalibrated. The most appropriate strategic approach is therefore a human-in-the-loop model in which AI provides timely evidence and prioritization while educators, advisers, and administrators retain professional judgment. Ultimately, AI-enabled predictive analytics should be understood not simply as a technological solution to student dropout but as an institutional intelligence framework for strengthening student engagement, academic progression, retention, and completion. When integrated with strong educational leadership, effective student-support structures, responsible data governance, and continuous evaluation, predictive analytics can contribute to a more proactive, personalized, equitable, and sustainable model of student-success management.

FUTURE RESEARCH

Future research should validate the proposed framework using large-scale longitudinal datasets from multiple higher education institutions and diverse educational contexts. Comparative studies should examine the performance of Random Forest, Gradient Boosting, deep learning, and temporal models under changing student and institutional conditions. Research should also investigate multimodal data integration, causal inference, federated learning, fairness-aware modelling, and real-time learning analytics. Particular attention should be given to evaluating whether AI-generated early warnings actually produce measurable improvements in retention when linked to specific interventions. Future studies should additionally develop explainable and student-centred interfaces that allow predictions to be interpreted constructively without stigmatizing learners. Cross-institutional validation will be essential for determining the generalizability and scalability of AI-enabled student-success systems.

References

Abu Saa, A., Al-Emran, M., & Shaalan, K. (2019). Factors affecting students' performance in higher education: A systematic review of predictive data mining techniques. *Technology, Knowledge and Learning, 24*(4), 567-598. https://doi.org/10.1007/s10758-019-09408-7

Andrade-Girón, D., Sandivar-Rosas, J., Marín-Rodriguez, W., Susanibar-Ramirez, E., Toro-Dextre, E., Ausejo-Sanchez, J., Villarreal-Torres, H., & Angeles-Morales, J. (2023). Predicting student dropout based on machine learning and deep learning: A systematic review. *EAI Endorsed Transactions on Scalable Information Systems, 10*(5). https://doi.org/10.4108/eetsis.3586

Cardona, T., Cudney, E. A., Hoerl, R., & Snyder, J. (2023). Data mining and machine learning retention models in higher education. *Journal of College Student Retention: Research, Theory & Practice, 25*(1). https://doi.org/10.1177/1521025120964920

Christou, V., Tsoulos, I., Loupas, V., Tzallas, A. T., Gogos, C., Karvelis, P. S., Antoniadis, N., & others. (2023). Performance and early drop prediction for higher education students using machine learning. *Expert Systems with Applications, 225*, 120079. https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120079

Çırak, C. R., Akıllı, H., & Ekinci, Y. (2024). Development of an early warning system for higher education institutions by predicting first-year student academic performance. *Higher Education Quarterly, 78*(4), e12539. https://doi.org/10.1111/hequ.12539

Gonzalez-Nucamendi, A., Noguez, J., Neri, L., Robledo-Rella, V., & García-Castelán, R. M. G. (2023). Predictive analytics study to determine undergraduate students at risk of dropout. *Frontiers in Education, 8*, 1244686. https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1244686

Kinnunen, J., et al. (2024). Predicting student dropouts with machine learning: An empirical study in Finnish higher education. *Technology in Society, 76*, 102474. https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2024.102474

Mai, J., Wei, F., He, W., Huang, H., & Zhu, H. (2024). An explainable student performance prediction method based on dual-level progressive classification belief rule base. *Electronics, 13*(22), 4358. https://doi.org/10.3390/electronics13224358

Matz, S. C., Bukow, C. S., Peters, H., Deacons, C., Dinu, A., & Stachl, C. (2023). Using machine learning to predict student retention from socio-demographic characteristics and app-based engagement metrics. *Scientific Reports, 13*, 5705. https://doi.org/10.1038/s41598-023-32484-w

Pérez Niño, J. L., Gualdrón Guerrero, O. E., & Barrera Oliveros, D. J. (2024). Modelos de inteligencia artificial en minería de datos educativos para predecir la deserción en educación superior: Una revisión integral. *Tecnura, 28*(82). https://doi.org/10.14483/22487638.23670

Plak, S., Cornelisz, I., & others. (2022). Early warning systems for more effective student counselling in higher education: Evidence from a Dutch field experiment. *Higher Education Quarterly, 76*(1), 131–152. https://doi.org/10.1111/hequ.12298

Saqr, M., & López-Pernas, S. (2024). Why explainable AI may not be enough: Predictions and mispredictions in decision making in education. *Smart Learning Environments, 11*, 52.

Tete, M. F., Sousa, M. de M., Goiano, T. S. de S., & Silva, S. F. (2022). Predictive models for higher education dropout: A systematic literature review. *Education Policy Analysis Archives, 30*. https://doi.org/10.14507/epaa.30.6845