

5.Uluslararası İYONYA BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR KONGRESİ

17-18 EKİM 2026

İZMİR

EDİTÖR;

Assoc. Prof. Dr. Gülşen MEHERREMOVA

Prof.Dr.Necmi DÜŞÜNCELİ

www.isarconference.org

KONGRE KİTABI

INDEX

CONGRES ID		II-V
PROGRAM		VI-XVIII
GALLERY		XIX-XXXIII
ACADEMIC INCENTIVE		XXXIV
NOTIFICATIONS		XXXV-

CONGRESS ID

CONGRESS TITLE

5th INTERNATIONAL İYONYA SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESS

DATE AND PLACE

17-18, OCTOBER 2026 İZMİR PRESENTATIONS

ORGANIZATION

ISARC INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

CONGRE COORDINATOR

Beyza KUŞKIRAN

EDITOR

Assoc. Prof. Dr. Gülşen MEHERREMOVA
Prof.Dr.Necmi DÜŞÜNCELİ

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: '978-625-378-767-7'

KİTAP YAYIN TARİHİ: 26.10.2026

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

SCIENCE AND ADVISORY COMMITTEE

Prof.Dr.EMİNE NAS
Selçuk University

Prof. Dr. Jaın SADHNA
Unıversıty Of Delhı

Prof. Dr. Mehmet Fırat BARAN
Siirt University

Prof. Dr. Mehmet ŞAHIN
Gaziantep University

Prof. Dr. Morakeng Edward
Kenneth LEBAKA University Of Zululand

Prof. Dr. Mukadder MOLLAOĞLU
Cumhuriyet University

Prof. Dr. Manole COJOCARU
Titu Maiorescu University

Prof. Dr. Mustafa Fedai ÇAVUŞ
Osmaniye Korkut Ata University

Prof. Dr. Mustafa METE
Gaziantep University

Prof. Dr. Mustafa Onur ALADAĞ
Selçuk University

Prof. Dr. Neslihan ŞAHİN
Sivas Cumhuriyet University

Prof. Dr. Nurdan KALAYCI
Gazi University

Prof. Dr. Orhan ZEYBEK
Balıkesir University

Prof. Dr. Sancar BULUT
Kayseri University

Prof.Dr. Sedat İLHAN
Dicle University

Prof. Dr. Selahattin YAVUZ
Erzincan Binali Yıldırım University

Prof. Dr. Seyfi ŞEVİK
Hitit University

Prof. Dr. Songül ÇAKMAKÇI
Atatürk University

Prof.Dr.Vehbi GÜNEŞ
Selçuk University

Prof.Dr. Yadigar GÜLSEVEN SIDIR
Bitlis Eren University

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

Prof. Dr. Zülfü GÜROCAK
Fırat University

Assoc. Prof. Dr.Ahmet AYDIN
Ege University

Assoc. Prof. Dr. Armel MBON
Marien Ngouabi University

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

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

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

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

Assoc. Prof. Soufiane Ziani
Mohammed 1st University

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

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

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

Assoc. Prof. Dr. Zulfiyya ISMAYIL
Nahçıvan Dövlet Universiteti

Dr. Ali ARSHAD
University Utara

Dr. Aygün MEHERREMOVA
Bakü Devlet University

Dr. Aziz İLGAZİ
Harran University

Dr. Bhavtosh AWASTHİ
Jecrc University India

Dr. Chems Eddine BOUKHEDIMI
University of Tizi Ouzou

Dr.Duong To Quoc THAI
Dong Thap University

Dr.Huma IKRAM
University Of Karachi

Dr. Moses Adeolu AGOI
Lagos State University of Education

Dr. Muhammad IMRAN
Government College University

Dr.Muhammad Saleh FAISAL
Pmdc Registration

Dr. Nurhoca AKBULAYEV
Azerbaycan Devlet İktisat University

Dr. Rida ZULFİQAR
University of Szeged

Dr. Tatia DOLİDZE
European University

Scıentific Development and Innovative Approach

5. INTERNATIONAL İYONYA SCIENTIFIC RESEARCH CONGRESS

17-18, EKİM 2026 İYONYA/TÜRKİYE

Congress Program

Participant Countries:

TÜRKİYE – ALGERIA – ALBANIA – AFGHANISTAN AZERBAYCAN – INDIA – IRAN – INDONESIA - JORDAN – MOROCCO – MOLDOVA - NIGERIA – PAKISTAN – 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: 878 7164 5645

PASSCODE: 458472

https://us06web.zoom.us/j/87871645645?pwd=k1pbg7s792eiYhHWCaDP0U6h5vyKVb.1

17.10.2026 / Hall-1, Session-1			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 878 7164 5645
	10 ^{00} : 11 ^{45}		PASSCODE: 458472

HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr. Ece ACAR

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Digital Exercise And Telerehabilitation In Musculoskeletal Rehabilitation: Current Evidence	Assist. Prof. Dr. Ece ACAR	Karabük University TÜRKİYE
Virtual Reality In Stroke Rehabilitation: Current Evidence From The Upper Extremity To Gait	Assist. Prof. Dr. Ece ACAR	Karabük University TÜRKİYE
Child Development Program Students' Perspectives On Physical Activities (The Case Of Kafkas University)	Lect. Talip BEKTAŞ Lect. Ebru ULUÇAY BEKTAŞ	Kafkas University TÜRKİYE Artvin Çoruh University TÜRKİYE
Identifying Practices Used By Preschool Teachers To Develop Children's Sensory Recognition Skills Through Turkish Language Activities	Lect. Ebru ULUÇAY BEKTAŞ Lect. Talip BEKTAŞ	Artvin Çoruh University TÜRKİYE Kafkas University TÜRKİYE
Physical Activity Is Associated With Functional Walking Capacity And One-Minute Heart Rate Recovery In Healthy Young Adults	Assist. Prof. Dr. Alp ÖZEL Senanur AKINCI Gamze AYDIN Kiana Meftahi NAMİN Roubina FATERAD	Bolu Abant Izzet Baysal University TÜRKİYE
Chronic Disease Management And Older Adult Follow-Up In Primary Care: Knowledge, Attitudes, And Practice	Uzm. Dr. Sema Nur ŞAHİN ARSLAN Dr. Emrullah ŞANALAN	Üsküdar District Health Directorate TÜRKİYE
Palliative Nursing Care For Advanced Dementia Patients In Rural And Urban Areas: Access Barriers And Nursing Approaches	Seda GÜNEY	Koç University TÜRKİYE

17.10.2026 / Hall-2, Session-1

ANKARA LOCAL TIME

10 00 : 12 00

MEETING ID: 878 7164 5645

PASSCODE: 458472

HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr. Tugba TETİK

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Investigation Of The Surface Topography And Corrosion Behavior Of Tio_2-Coated Aisi 431 Stainless Steel	Res. Ass. Furkan Berkay TAMER Prof. Dr. Aykut ÇANAKÇI Res. Ass. Sedat Alperen TUNÇ	Karadeniz Technical University TÜRKİYE
Investigation Of The Effect Of Sulfuric Acid Anodizing Time On The Oxide Layer Morphology And Surface Topography Of Aa7075 Aluminum Alloy	Res. Ass. Furkan Berkay TAMER Prof. Dr. Aykut ÇANAKÇI Res. Ass. Sedat Alperen TUNÇ	Karadeniz Technical University TÜRKİYE
Reliability Of Shap Explanations For Machine-Learning Corrections Of Rans Turbulence Models	Lect. Dr. Reha AVŞAR	İstanbul Medeniyet University TÜRKİYE
Decomposing The Cold-Weather Energy Penalty Of Plug-In Hybrid Electric Vehicles In Naturalistic Driving Data	Assist. Prof. Dr. Tugba TETİK	İstanbul Medeniyet University TÜRKİYE
Development Of A Rag-Augmented Llm-Based Legal Assistant And Evaluation Of Response Adequacy From Deterministic And Stochastic Perspectives	Mehmet Serhan DÜZCE Assist. Prof. Dr. Mehmet MİLLİ	Bolu Abant İzzet Baysal University TÜRKİYE
Forensic Geological Approaches Based On Soil Analysis For Crime Scene Investigation After Disasters	İsmail NURULLAH UTLİ Prof. Dr. Orhan KAVAK	Dicle University TÜRKİYE
Geoscientific Approaches In Forensic Incidents	İsmail NURULLAH UTLİ Prof. Dr. Orhan KAVAK	Dicle University TÜRKİYE

17.10.2026 / Hall-3, Session-2

ANKARA LOCAL TIME

10 30 : 12 30

MEETING ID: 878 7164 5645

PASSCODE: 458472

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Necmi DÜŞÜNCELİ

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Undersampling Approaches To Address Class Imbalance: Classification Of Hematological Profiles Associated With Thalassemia And Hemoglobin Disorders Using Cbc Data	Res. Assist. Mert BASANÇELEBİ Assist. Prof. Dr. İrem ŞENYER YAPICI Assoc. Prof. Dr. Rukiye UZUN ARSLAN	Zonguldak Bülent Ecevit University TÜRKİYE
Classification Of Thalassemia- And Hemoglobinopathy-Related Patterns From Cbc Data Using Random Oversampling And Metaheuristic Feature Selection	Res. Assist. Mert BASANÇELEBİ Assist. Prof. Dr. İrem ŞENYER YAPICI Assoc. Prof. Dr. Rukiye UZUN ARSLAN	Zonguldak Bülent Ecevit University TÜRKİYE
Tıme-Dependent Mechanıcal Behavıor Of 3d-Prınted Poly-Lactıc Acıd (Pla): Analysıs Of Rate-Dependent And Straın-Dependent Creep And Relaxatıon, Responses	Prof. Dr. Necmi DÜŞÜNCELİ	Aksaray University TÜRKİYE
Analysis Of Iot-Based Environmental Monitoring Data In Enterprise Server Rooms: Energy Efficiency, Anomaly Detection And Data Quality	Yunus DOĞAN Assist .Prof. Dr. Cemal Hakan DİKMEN	Afyon Kocatepe University TÜRKİYE
Relation Extraction From Turkish Text Using Morphological Analysis, Unification-Based Parsing, And Relation Filters	Assist. Prof. Dr. Hayri Volkan AGUN	Bursa Technical University TÜRKİYE
Production And Thermal Expansion Behavior Of Ultra-High Entropy Ceramics Containing Rare Earth Elements	PhD Ramazan TUNCER Assoc. Prof. Dr. Muhammet KARABAŞ Assoc. Prof. Ali AVCI	Kırklareli University TÜRKİYE
Composition Engineering Of Multimetallic Chalcogenide Electrodes For Advanced Hybrid Supercapacitors	Lect. Dr. Fahriye SARI	Selcuk University TÜRKİYE
Ternary Metal Oxide/G-C_3N_4/Chalcogenide Heterojunctions For Visible-Light-Driven Photocatalytic Hydrogen Evolution: Interfacial Engineering And Charge-Transfer Mechanisms	Lect. Dr. Fahriye SARI	Selcuk University TÜRKİYE

17.10.2026 / Hall-4, Session-2

ANKARA LOCAL TIME

10 30 : 12 00

MEETING ID: 878 7164 5645

PASSCODE: 458472

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr. Esra YILDIZ

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Characteristics Of Early Sīra Sources	Assoc. Prof. Dr. Esra YILDIZ	Yalova University TÜRKİYE
The Contributions Of Şer'Iyye Sicils To Turkish-Islamic Arts	Assoc. Prof. Dr. Esra YILDIZ	Yalova University TÜRKİYE
From Dār Al-Taqrīb To Majmaʿ Al-Taqrīb: The Institutionalization Process And Contemporary Functionality Of The Taqrīb Al-Madhāhib Movement	Assoc. Prof. Dr. Ayhan IŞIK Nursena SUBAŞI	Karabuk University TÜRKİYE
The Radicalization Process İn The Ferghana Valley: An Analysis Of The Islamic Movement Of Uzbekistan	Assoc. Prof. Dr. Ayhan IŞIK Shunkor KHOLIKULOV	Karabuk University TÜRKİYE
Representations Of Disability In The 4th-Grade Social Studies Textbook	Assoc. Prof. Dr. Ahmed Emin OSMANOĞLU	Bingöl University TÜRKİYE
Evaluation Of The Tübitak 4008 Project "Steam-Based Discovery And Design Adventure Of Pre-Service Special Education Teachers"	Assoc .Prof. Dr. Yılmaz SARIER Prof. Dr. Ersin KARADEMİR Prof. Dr. Suzan Duygu ERİŞTİ Uğur BOZKURT Şengül ŞEBER Semih ESENDEMİR	Odunpazarı District Directorate of National Education TÜRKİYE Eskişehir Osmangazi University TÜRKİYE Anadolu Osmangazi University TÜRKİYE Emine Emir Şahbaz Science and Art Center TÜRKİYE

17.10.2026 / Hall-5, Session-2

ANKARA LOCAL TIME

10 30 : 12 15

MEETING ID: 878 7164 5645

PASSCODE: 458472

HEAD OF SESSION: **Assoc. Prof. Dr. Yener TOP**

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
From Building To Street: The Multi-Scalar Architectural Impact Of Urban Regeneration Practices In A Turkish Secondary City	Asst. Prof. Alper GÖNÜL Seray KAYA Prof. Dr. Selen DURAK Prof. Dr. Tülin VURAL ARSLAN	Bursa Technical University TÜRKİYE
Chemometric Characterization Of The Turquoise Mineral From Mineralogical And Gemological Perspectives	Sadık Can OKYAY Prof. Dr. Murat HATİPOĞLU	Dokuz Eylül University TÜRKİYE
Imports Despite Export Surplus: A Study Of The Türkiye Furniture Sector	Assoc. Prof. Dr. Yener TOP	Gümüşhane University TÜRKİYE
Fire Safety In Hospital Buildings: Challenges, Design Approaches, And Solution Proposals In The Context Of Turkey	Lect. Abdurrahman OLGUN Lect. Uğur MAZLUM	Gümüşhane University TÜRKİYE
Considerations In The Location Selection Of Fire Stations: A Risk-Oriented, Accessible, And Resilient Settlement Model	Lect. Abdurrahman OLGUN Lect. Uğur MAZLUM	Gümüşhane University TÜRKİYE
The Multi-Layered Cultural Heritage Of Kalecik Village: Traditional Architecture,Archaeological Traces, And Conservation Issues	M.A. Beste TAŞ Assoc. Prof. Nur UMAR	Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University TÜRKİYE
Cultural Heritage Education In Cities Without Museums: Aiolis Digital Archaeology And Tile Museum Project	Dr.Özlem YILDIZ Aslı ATALAY R. Defne YILDIRIM Zeynep Ezgi SAĞDIÇ	independent researcher

17.10.2026 / Hall-6, Session-2

ANKARA LOCAL TIME

10 30 : 12 30

MEETING ID: 878 7164 5645

PASSCODE: 458472

HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr. Taner İlker GÜMRÜKÇÜOĞLU

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
In Vitro Propagation Of Allium Sp	Muhammet Anıl AYDIN Prof. Dr. Gülsüm ÖZTÜRK	Ege University TÜRKİYE
Investigation Of In Vitro Shoot Regeneration In Tulip	Muhammet Anıl AYDIN Prof. Dr. Gülsüm ÖZTÜRK	Ege University TÜRKİYE
Suspended Sediment Transport And Grading Curve Analysis At Çinarcik Dam	Dr. Murat CAN	DSI First Regional Directorate TÜRKİYE
Comparıson Of Antıoxıdant Capacıtıes Of Dıfferent Tree Specıes	Assist. Prof. Dr. Taner İlker GÜMRÜKÇÜOĞLU	Gümüşhane University TÜRKİYE
The Role And Legal Nature Of The Fatf In Combating The Financing Of Terrorism	Av. Begüm KOCAMAZ MERT	Marmara University TÜRKİYE
A Metaphorical Analysis Of Chef Candidates' Perceptions Of Hierarchy, Gender Discrimination, Creativity, And Sustainability In Professional Kitchens	Levent KAVAK Assoc. Prof. Dr. Kadir ÇETİN	Burdur Mehmet Akif Ersoy University TÜRKİYE
Synthesis, Spectroscopic Characterization, And Optical Properties Of A Novel Schiff Base Ligand And Its Lanthanum(III) Complex	Lect. Dr. Muhammet ÇELİK	Kahramanmaraş Sütçü İmam University TÜRKİYE
Synthesis, Spectroscopic Characterization And Optical Properties Of A Novel Schiff Base Ligand And Its Cerium(III) Complex	Lect. Dr. Muhammet ÇELİK	Kahramanmaraş Sütçü İmam University TÜRKİYE

17.10.2026 / Hall-7, Session-3			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 878 7164 5645
	11 00 : 13 00		PASSCODE: 458472

HEAD OF SESSION: **Prof. Bledar KRAJA, MD, PhD**

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Capital Flow From Banque De L'Indochine To French Plantation Companies (1875-1945)	Dr. Duong To Quoc THAI	Dong Thap University, VIETNAM
Dietary Fiber In Gastrointestinal Disorders: A Systematic Review Of Physiological Mechanisms, Clinical Applications, And Emerging Evidence	Prof. Bledar KRAJA, MD, PhD	University Hospital Center "Mother Teresa" ALBANIA
Fiscal Federalism And School Education: A Comparative Study Of Educational Infrastructure And Spending Capacities In Northern And Southern India	Abhay Goel Anisha Tigga Ashwajit Gaikwad Dorshita Phukan Kashvi Bareja, Md. Shahanur Hosen Pushkar Sharma Shreya Sikdar Vanshika Jindal	-
Vitamin K2 And Heart Health: Exploring Its Potential Role In Preventing Heart Attack And Arterial Blockage	Dr.Tasawar Iqbal Sidra Altaf	University of Agriculture PAKISTAN
Residence-Time Heterogeneity And Epidemic Memory In Varicella-Zoster Virus Dynamics: A Caputo Fractional SVEILATRM Framework With Stability Analysis And Optimal Control	Shahid Mahmood Israr Ali Khan	Kohat University PAKISTAN
Medicinal Plant–Drug Interactions In Chronic Disease Management : Pharmacological Evidence And Public Health Implications In Morocco	Fatima El hilah Nadia Belahbib Jamila Dahmani Lahcen Zidane	Ibn Tofail University MOROCCO
Antidiabetic Effects of Probiotics in Type 2 Diabetes Mellitus: From Mechanistic Insights to Clinical Evidence	Fatima Ezzahra KHAYATTE	Sultan Moulay Slimane University MOROCCO

17.10.2026 / Hall-8, Session-3			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 878 7164 5645
	11 00 : 13 00		PASSCODE: 458472

HEAD OF SESSION: Prof Dr Rizwan Akram Rana

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Multiphysics–Judd–Ofelt Correlations For Enhanced Red Luminescence In Eu 3+ -Doped Silicophosphate Sol–Gel Glasses	El Mahdi Bouabdalli , Mohamed El Jouad, Samira Touhtouh, Fouad Belhora, Nathalie Gaumer, El Kebir Hlil Abdelowahed Hajjaji	Sidi Mohamed Ben Abdellah University MOROCCO Chouaib Doukkali University MOROCCO
Structure–Property Relationships In Eu 3+ -Doped Strontium Phosphate Glasses: Implications For Photonic And Photovoltaic Applications	El Mahdi Bouabdalli, Mohamed El Jouad, Samira Touhtouh, Ilyass El kadmiri, Nathalie Gaumer, Mostapha Siniti, Abdelowahed Hajjaji	Sidi Mohamed Ben Abdellah University MOROCCO Chouaib Doukkali University MOROCCO
Awareness And Disposition Towards Mental Health Challenges Among Undergraduates In A Tertiary Institution In Nigeria	Ilochi Nwabunwanne Ogadinma Anyanwu Frances Chidiebere	Federal University NIGERIA
Creating Balanace Between Academic And Administrative Time By School Leadership	Dr Irfan Bashir Prof Dr Rizwan Akram Rana Dr Afshan Naseem Dr Fariha Gul Prof Dr Yasira Waqar Dr Aisha Sami Dr Almas Shoaib Dr Aqila Rafique DR Farhat Munir Dr Sajid Masood Dr Faisal Anees	University of Management and Technology Lahore PAKISTAN
Business Feasibility Study Of Dapur Nusantara Resto	Haliza Moy Sonny V. Sutedjo	President University
Nanomaterial-Based Transdermal Drug Delivery For Skin-Related Disorder	Babita Gupta	Integral University INDIA
Hydrothermal Synthesis Of Barium Iron Sulfide-Reduced Graphene Oxide Nanocomposite For High Performance Supercapacitor	Muhammad ISMAIL	Ghazi University PAKISTAN
Enhancing Electrochemical Action Of Surface Functionnalized Carbon Nanodots Towards Rustproofing Mildsteels Under Acidic Conditions : Experimental Approach	Assia AZOUAGHE Mohamed EL MAHAMDI Walid DAOUDI Abdelmalik EL AATIAOUI	Mohammed First University MOROCCO Hassan First University MOROCCO

17.10.2026 / Hall-9, Session-3			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 878 7164 5645
	11 00 : 13 00		PASSCODE: 458472

HEAD OF SESSION: Prof. Bledar KRAJA, MD, PhD

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Beyond Visualization: Integrating Generative Artificial Intelligence For Climate-Responsive Architectural Education: A Pedagogical Framework From Pakistan	Ar. Hafiz Muhammad Ahmed Nadeem Ar. Syeda Mahwish Zara Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti Ar. Shayan Zulfiqar	Dept. of Architecture Design
Geospatial Assessment Of Environmental Noise Pollution Patterns In Gandu Sarki And Gimare Community Lafia, Nasarawa State Nigeria.	Abdullahi, Zainab Suleiman Jibrin Suleiman Yaro Ezekiel Ayiwulu Jibrin Abdullahi Suleiman Leo.Abejide	Federal University NIGERIA
Comparative Study Of 3D-Printed And Traditionally Manufactured Mechanical Parts: A Review-Based Comparative Engineering Analysis	Imoh Ime Ekanem Aniekan Essienubong Michael Okon Bassey	Akwa Ibom State Polytechnic NIGERIA
Factors Influencing Incidental Vocabulary Learning And Retention Among EFL Learners:A Systematic Review	Bessma Hamama Samia Moustaghfir	Ibn Tofail University MOROCCO
Contemporary Society And Crime	Roxana Moisoiu	-
Current Strategies And Policies To Address The Disease Burden In Albania: The National Health Strategy 2021-2030	Prof. Bledar KRAJA, MD, PhD	University Hospital Center "Mother Teresa" ALBANIA
Enhancing Learning Interest And Volleyball Skills Among Medical Students Through An Integrated Physical Conditioning And Extracurricular Volleyball Program	Ph.D. Le Tien De	Can Tho University VIETNAM
Effects Of Generative Artificial Intelligence-Supported Inquiry Learning On Secondary School Students' Achievement And Retention In Electricity In Maiduguri Metropolitan, Borno State, Nigeria	Onukwube Nnamani	University of Maiduguri NIGERIA
Catalytic Reduction Of 4-Nitrophenol Over Sewage Sludge-Derived Nio/Biochar Composite	Layla El Moussaoui Majda Ben Ali Oumaima Sadik Prof. Dr. Abdellah Benzaouak Prof. Dr. Mouatamid El hazzat Yassine Elkahoui Prof. Dr. Adnane El Hamidi	Mohammed V University MOROCCO
The Floating City: Utopia, Technology And Ecological Futures In Richard Powers's Playground	Ms. C. Ashmitha Chellam Dr. C. Vairavan	Deemed to be University INDIA

17.10.2026 / Hall-10, Session-3			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 878 7164 5645
	11 00 : 13 00		PASSCODE: 458472

HEAD OF SESSION: Prof. Nabil Ghabbour

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
The Manifestation Of Worldwide Pharmacy Profession In Transition: A Critical Scientific Assessment Of Professional Reconfiguration, Patient-Centered Care, Medicinal Technology, Human-Capital Capacity, Health-System Collaboration, And Long-Term Occupational Prospects	Nodar Sulashvili , Nato Alavidze Ia Egnatievi, Manana Giorgobiani Mzia Tsiklauri, Marika Sulashvili Igor Seniuk, Ketevani Gabunia Tamar Okropiridze, David Aphkhazava	BAU International University GEORGIA
The Scholarly Disquisition On Fundamental Dimensions Of Transforming Contemporary Medical Education: A Global Evidence-Synthesized Examination Of Pedagogical Innovation, Interprofessional Learning, Technological Integration, Outcome-Oriented Curricular Architectures And Clinical Professional Competence Development	Nodar Sulashvili , Nato Alavidze Ia Egnatievi, Manana Giorgobiani Mzia Tsiklauri, Marika Sulashvili Igor Seniuk, Ketevani Gabunia Tamar Okropiridze, David Aphkhazava	BAU International University GEORGIA
The Integrated Scientific Appraisal Of Anticancer Vaccine Pharmacology And Pharmacotherapy: Evidence-Based Therapeutic Efficacy, Toxicity Profiling, Pharmacovigilance, Immunosafety, Molecular Precision, Therapeutic Benefit–Risk Assessment, Clinical Outcome Optimization, Patient-Centered Care, Clinical Response, Survival Outcomes, Treatment Monitoring And Real-World Effectiveness	Nodar Sulashvili, Nana Gorgaslidze Diego Rada Fernandez de Jauregui Maka Buleishvili, Mariam Darbaidze Nato Alavidze, Marika Sulashvili Irina Imerlishvili, Marina Giorgobiani, Ketevani Gabunia Vira Kravchenko, Olga Shapoval Igor Seniuk, Nana Mdinaradze Nino Abuladze, Giorgi Pkhakadze Magda Davitashvili, Zaza Khachiperadze	BAU International University GEORGIA
Comprehensively Ethnobotanical Expanding Insights Into Traditional Health Practices In Taza Province, Morocco	Dr. Badia El Aarage Prof. Nabil Ghabbour	Sidi mohammed ben abdellah University MOROCCO
Biodiversity Conservation Awareness And Sustainable Utilization Of Natural Resources Among Rural Communities In Ogba/Egbema/Ndoni Local Government Area, Rivers State, Nigeria Presentatd	Bruno, Ibeabuchi Anwuri. Dr. Edith Urakpo Nwaeze. Owurre Isioma Mercy	Federal college of Education (Technical)Omoku NIGERIA
Polyherbal Oral Dissolving Films : Formulation Strategies & Therapeutic Potential Of Bougainvillea &Ciltoria Ternatea Extract.	Mrs. Bornare Ashwini C. Mr. Rohan Kherud Mr. Vikas shinde Dr. Amol Gayke	Department of Herbal Drug technology
Alkaloid-Mediated Modulation Of Macrophage Inflammatory Responses: An Ex Vivo Approach	Zineb SEKKOUT Omaima BOUDAIA Driss RADALLAH Najat EL AMRANI EL HAMSAS EL YOUBI Amal	Ben M'Sik, University MOROCCO
Sustainable Valorization Of Red Beetroot Pomace Bioactives Through Nanoencapsulation For Enhanced Quality Of Fresh Plum Juice	Aliza Naeem Bushra Niaz Farhan Saeed Muhammad Afzaal Ali Imran	Government College University PAKISTAN
Blockchain Enabled Accounting Systems For Improving Financial Transparency, Auditability, Corporate Governance, Fraud Prevention, And Stakeholder Confidence Across Organisations	Ayodele Elizabeth AGOI Moses Adeolu AGOI Oluwanifemi Opeyemi AGOI Yewande Adeyosola ODUNAYO	Osun State College of Technology Lagos State University NIGERIA

17.10.2026 / Hall-11, Session-3			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 878 7164 5645
	11 00 : 13 00		PASSCODE: 458472

HEAD OF SESSION: Dr.C.Vairavan

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Harmonizing Sustainable Practices: Climate-Responsive Design In University Libraries	Ar. Fahrah Khurram Ar. Nazia Iftakhar Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti	Dept. of Architecture, School of Architecture & Planning INDIA
Comparative Study Of The Phytochemical Composition Of Fumaria Parviflora From Three Regions Of Morocco	Salma MAKDOUF Karima El Bouqdaoui Abdelhakim El Makssoudi Mounia Cherki	Hassan II University MOROCCO
Biological Capital And The Commodification Of Life In Paolo Bacigalupi's The Windup Girl	Gayathri P Dr.C.Vairavan	Deemed to be University INDIA
Suturing With Confidence: Do Antimicrobial Sutures Truly Prevent Surgical Site Infection?	Btissam Serraou Fadoua Louglali Hafida Zahir Mostafa EL Louali Hassan Latrache	Sultan Moulay Slimane University MOROCCO
Clinical Evaluation Of Neonatal Morbidity, Mortality, And Maternal Health Outcomes Following Kangaroo Mother Care Implementation	Junaid Uthman Abayomi Kouyate Ibrahim Junior Safiya Samaila Kogo Itua Uyiosenobua Busayo	Osun State University NIGERIA
Effect Of Co-Digestion Of Cow Dung With Cassava Wastewater On Biogas Production	Junaid Uthman Abayomi Kouyate Ibrahim Junior Safiya Samaila Kogo Itua Uyiosenobua Busayo Alonge-Niyi Oreoluwa	Osun State University Far Eastern Federal University St. Petersburg State Pediatric Medical University
Assessment Of Knowledge, Attitude And Practice On Reproductive Health, Menstrual Hygiene And Body Safety Among Nigerian Adolescent Students	Junaid Uthman Abayomi Kouyate Ibrahim Junior Safiya Samaila Kogo Oyebola Oreoluwa Elizabeth	Osun State University Far Eastern Federal University St. Petersburg State Pediatric Medical University
A Comparative Reading Of Satirical Exploration In Chinelo Okparanta's Harry Sylvester Bird And George Orwell's Animal Farm	Junaid Uthman Abayomi Alonge-Niyi Oreoluwa Ige Emmanuel Jesutofunmi	Osun State University NIGERIA

17.10.2026 / Hall-12, Session-3			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 878 7164 5645
	11 00 : 13 00		PASSCODE: 458472

HEAD OF SESSION: Prof. Mohammed Waheeb

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
One Waste, Two Products: Room-Temperature Conversion Of Moroccan Phosphogypsum Into Ammonium Sulfate And Calcium Carbonate	Prof. Dr. CHERRAT Ayoub Dr. ERRADI El Mostafa Dr. BENHARAF El Mostafa Dr. ENNAWAOUI Amine Prof. Dr. MASTOURI Hicham Prof. Dr. ENNAWAOUI Chouaib Prof. Dr. LABJAR Najoua Prof. Dr. EL HAJJAJI Souad	Sultan Moulay Slimane University MOROCCO University Mohammed VI Polytechnic Benguerir MOROCCO Chouaib Doukkali University MOROCCO Mohammed V University MOROCCO
Machines Of The Metropole: Technological Violence And Its Counter-Technologies In Buchi Emecheta's Destination Biafra	K. Shoba Dr. C. Vairavan	AMET University INDIA
Evaluation Of The Abdominal Region Of The Pleco Fish (Pterygoplichthys Joselimaianus) Using Diagnostic Imaging Methods For Gender Determination	Hooman Rahmati-Holasoo Milad Alazmani Nodeh Majid Masoudifard Mohammadreza Heydari	University of Tehran IRAN
Investigation Of Internal Parasitic Infestations In Ornamental Discus Fish (Symphysodon Spp.)	Hooman Rahmati-Holasoo Jalal Mowlana Mahan Mahdavi Saeidi Abdolrahman Baghban Paria Saeedi Ilkchi	University of Tehran IRAN
Modelling The Effect Of Student Health And Well-Being On Engagement And Academic Persistence In Distance Learning: A Data-Driven Framework For Higher Education	Sikirulai Abolaji, AKANDE Marufat, HUSSAINI Maimuna Ishaq, ABDULLAHI Muhammad Awwal, ISHAQ Zainab Ishaq, ABDULAZEEZ Abdullahi Opeyemi, ABDULRAHEEM	Federal University NIGERIA
Comprehensive First-Principles Analysis Of Electronic, Mechanical, Thermodynamic, And Optical Characteristics Of Limgxh 6 (X = Al, Tl) Hydride Compounds	Bouchra Riyani Abderrahim Azdad Hamane Lemziouka Abderrahim Boutahar	Sidi Mohamed Ben Abdellah University MOROCCO Chouaïb Doukkali University MOROCCO
In Silico Identification Of Potential GES-5 Inhibitors Using Molecular Docking, Molecular Dynamics Simulations, And ADMET Analysis	Manal Ghatesse Hicham Charoute Mostafa Kabine Noureddine Bourhim Yassine Zouheir	Hassan II University MOROCCO
Utilizing Drone Technologies To Discover Invisible Ancient Route Alignments: The Meccan Ilaf Route As A Case Study	Prof. Mohammed Waheeb	Hashemite University JORDAN

18.10.2026 / Hall-1, Session-1

ANKARA LOCAL TIME

10 00 : 12 00

MEETING ID: 878 7164 5645

PASSCODE: 458472

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Onder KIZILKAN

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
An Analysis Of Engineering Authority Boundaries Under Law No. 5531 In The Light Of Judicial Decisions	Can DEMİRKESEN Assist. Prof. Dr. Nilay TULUKCU YILDIZBAŞ	İstanbul University TÜRKİYE
Solar-Charged Two-Stage Adiabatic Compressed Air Energy Storage With Heat Co-Generation For An Inland High-Altitude City: The Case Of Isparta, Türkiye	Prof. Dr. Onder KIZILKAN Assoc. Prof. Dr. Gamze SOYTURK Assist. Prof. Dr. Serpil CELIK TOKER	Isparta University TÜRKİYE
Pv-Driven Seawater Desalination In Türkiye: A Comparative Energy, Water And Exergy Assessment	Assist. Prof. Dr. Serpil CELIK TOKER Assoc. Prof. Dr. Gamze SOYTURK Prof. Dr. Onder KIZILKAN	Isparta University TÜRKİYE
Forecasts For The Adoption And Diffusion Of Autonomous Driving: An Assessment Using Delphi And Ahp	Zeynep AYLANÇ Assoc. Prof. Dr. Burak DİNDAROĞLU	İzmir Institute of Technology TÜRKİYE
Effect Of Tempering Temperature On The Mechanical Properties And In-Service Performance Of Bolt Tubes Produced From 28mn6 Steel	Mutlu Çağrı YİĞİT Abdullah ÖTER Umut DURAN	Kalibre Boru San. Tic. AŞ., R&D Center TÜRKİYE
Ai-Based Decision Support In Erp Systems: Smart Planning, Demand Forecasting, And Predictive Maintenance	Esra DEMİRCİ	Thales Information Software and Consulting Trade Ltd. Co. TÜRKİYE
Erp-Based Digital Twin Decision Support Platform For Industrial Production And Supply Chain Processes: Simulation And Scenario Analysis	Esra DEMİRCİ	Thales Information Software and Consulting Trade Ltd. Co. TÜRKİYE
Design-Oriented Assessment Of Corrosion In Different Material Groups Under Marine Atmospheric Conditions And Development Of A Decision-Support Framework	Eyüp ARIK	Pimeks Aluminum PVC and Metal Industry and Trade Inc. TÜRKİYE

18.10.2026 / Hall-2, Session-1

ANKARA LOCAL TIME

10 00 : 12 00

MEETING ID: 878 7164 5645

PASSCODE: 458472

HEAD OF SESSION: Prof. Dr. Burcu ÖKSÜZ KAYA

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Fabrication And Characterization Of Electrospun Pva Nanofibers Incorporated With Aqueous Thyme Extract For Biomedical Applications	Assoc. Prof. Dr. Yusuf YILMAZ Mustafa HAYTA Ayşenur KOÇ	Gaziantep University TÜRKİYE
Fabrication And Characterization Of Electrospun Pa66 Nanofibers Incorporated With St. John's Wort Oil (Hypericum Perforatum L.) For Biomedical Applications	Assoc. Prof. Dr. Yusuf YILMAZ Mustafa HAYTA Ayşenur KOÇ	Gaziantep University TÜRKİYE
Child-Friendly City Tokat	Nazım SEVER Prof. Dr. Hüseyin MERTOL Assoc. Prof. Dr. Dr. Nisa Gökden KAYA	Tokat Gaziosmanpaşa University TÜRKİYE Hitit University TÜRKİYE
Tokat Municipality Toy Museum	Nazım SEVER Prof. Dr. Hüseyin MERTOL Assoc. Prof. Dr. Dr. Nisa Gökden KAYA	Tokat Gaziosmanpaşa University TÜRKİYE Hitit University TÜRKİYE
What Is And Isn't A Newsjacking Strategy?	Prof. Dr. Burcu ÖKSÜZ KAYA Asst. Prof. Dr. İlknur KILINÇ	İzmir Kâtip Çelebi University TÜRKİYE Kastamonu University TÜRKİYE
How Are Volunteering Courses Taught At Universities?	Asst. Prof. Dr. İlknur KILINÇ Prof. Dr. Burcu ÖKSÜZ KAYA	Kastamonu University TÜRKİYE İzmir Kâtip Çelebi University TÜRKİYE
The Transformation Of The Teacher Image From The Establishment Of The Turkish Republic To The Present: Social Meaning, Roles, And The Ideal Teacher	Dr. Önder KORKMAZ Prof. Dr. Mustafa GÜÇLÜ	MEB Erciyes University TÜRKİYE
Digital Comparative Analysis Of Azerbaijani And Turkish Literature:Text, City And National Identity	Ph.D., Ilaha Khaleddin gizi VALIYEVA	Sumgayit State University AZERBAIJAN

18.10.2026 / Hall-3, Session-2			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 878 7164 5645
	10 30 : 11 30		PASSCODE: 458472

HEAD OF SESSION: Assoc. Prof. Dr.Efendiyeva Saadat Majid gizi

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Investigating The Relationship Between Psychologicalzflexibility In Romantic Relationships And Perceived Romantic Relationship Quality Among University Students	Bersun DEMİR	Altınbaş University TÜRKİYE
The Effect Of Forced Displacement On Identity, Belonging, And Future Perception: A Psychosocial Study On Syrian Youth	İlham Sebea ALLEİL	Toros University TÜRKİYE
Political Management And Political Technologies: Conceptual Foundations And Functional Structure The Concept Of Political Management And The Technological Subsystem	Assoc. Prof. Dr.Efendiyeva Saadat Majid gizi	Baku State University AZERBAIJAN
The Mediating Role Of Interpersonal Dependency In The Relationship Between Perceived Parenting Style And Jealousy Toward A Romantic Partner In Emerging Adulthood	Psk. Elif Kübra ÖZER Assist. Prof. Dr. Elçin YORULMAZ	Dokuz Eylul University TÜRKİYE

18.10.2026 / Hall-4, Session-2			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 878 7164 5645
	10 30 : 12 00		PASSCODE: 458472

HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr. Altay ARBAK

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Performance Evaluation Of Different Types Of Phase Change Materials In Double-Pipe Heat Exchangers	Mahir ŞAHİN Prof. Dr. Mustafa KILIÇ	Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University TÜRKİYE
A Review Of Solid-Propellant Thrust Vector Control Systems For Microsatellites	Mahir ŞAHİN Prof. Dr. Mustafa KILIÇ	Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University TÜRKİYE
Modular Forms And Differential Equations	Kübra CENGİZ KUŞ Prof. Dr. İlker İNAM	Bilecik Seyh Edebali University TÜRKİYE
Federated Learning For Turkish Fake News Detection: A Comparative Analysis Of Architecture, Number Of Clients, And Local Training Epochs	Res. Assist. Oben ADAK Assoc. Prof. Dr. Mehmet ACI	Mersin University TÜRKİYE
Developing A Solution To The Turkish Grammar Induction Problem Through Comparative Analyses	Res. Assist. Oben ADAK Assoc. Prof. Dr. Mehmet ACI	Mersin University TÜRKİYE
Artificial Intelligence Applications In The Hvac Sector: A Review Of Current Approaches, Challenges And Future Directions	Assist. Prof. Dr. Altay ARBAK	Istanbul Medeniyet University TÜRKİYE

18.10.2026 / Hall-5, Session-2			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 878 7164 5645
	10 30 : 11 45		PASSCODE: 458472

HEAD OF SESSION: Assist. Prof. Dr.Kübra Can KURT

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Anatomy Of The Trachea In Malakli Dogs	Prof. Dr. Zekeriya ÖZÜDOĞRU Res. Assist. Muhammet Alperen FİDAN	Balıkesir University TÜRKİYE Aksaray University TÜRKİYE
Anatomical Structure Of The Larynx In Aksaray Malakli Dogs	Prof. Dr. Zekeriya ÖZÜDOĞRU Res. Assist. Muhammet Alperen FİDAN Prof. Dr. Ramazan İLGÜN	Balıkesir University TÜRKİYE Aksaray University TÜRKİYE
Impact Of Enhanced Recovery After Surgery (Eras) Based Multimodal Pain Management On Clinical Outcomes In Laparoscopic Cholecystectomy: An Ambispective Cohort Study	Dr. Bülent HALAÇLAR Assist. Prof. Dr. Esma GÖKÇE Dr. Mohammad SEVİMLİ	Algomed Private Hospital TÜRKİYE
Investigation Of The Antimicrobial Activities Of 3-Alkyl/Aryl-4-(5-Methyl-2-Thienylmethyleneamino)-4,5-Dihydro-1h-1,2,4-Triazol-5-One Derivatives	Assist. Prof. Dr. Önder ALBAYRAK Assist. Prof. Dr. Fevzi AYTEMİZ	Kafkas University TÜRKİYE
The Therapeutic Potential Of Bacteriophages In The Combat Of Antibiotic Resistance: Current Status And Clinical Applications	Assist. Prof. Dr.Kübra Can KURT	University of Health Sciences TÜRKİYE

18.10.2026 / Hall-6, Session-2

ANKARA LOCAL TIME

10 30 : 12 30

MEETING ID: 878 7164 5645

PASSCODE: 458472

HEAD OF SESSION: Dr. Canan AKDENİZ

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Association Between Fatigue Severity, Kinesiophobia, And Walking Performance In Individuals With Multiple Sclerosis	Uzm. Fzt. Beyza Nur ASLANTAŞ SERİN Uzm. Fzt. Sajjad SHADIAN Prof. Dr. Birgül BALCI Prof. Dr. Sibel CANBAZ KABAY	Dokuz Eylul University TÜRKİYE
Three-Dımensıonal Bone Regeneratıon Usıng The Khoury Technıque And Autologous Dentın Shell Wıth Subsequent Implant Placement	Dr. Canan AKDENİZ	Dicle University TÜRKİYE
Maxıllary Sınus Floor Elevatıon Usıng The Lateral Wındow Technıque And Implant Rehabılıtatıon	Dr. Canan AKDENİZ	Dicle University TÜRKİYE
Acute Load Responses To Changes In Player Number And Court Dimensions In Volleyball: A Rapid Systematic Review	Şener MUTLU	Bursa Uludağ University TÜRKİYE
Extensive Hematoma And Recurrent Anemia Following Hip Hemiarthroplasty: Assessment Of Bromelain-Containing Supplement Use	Dr. Umut Can DUVARCI	Sandikli State Hospital TÜRKİYE
Ai-Assisted Decision-Making In Social Work: Professional Judgment, Client Participation, And Professional Responsibility	Lect. Dr. Gülnihal ALTUN	Burdur Mehmet Akif Ersoy University TÜRKİYE
Domestic Violence And Personality Traits: A Theoretical Evaluation Within The Framework Of The Five-Factor Model Of Personality	Lect. Dr. Gülnihal ALTUN	Burdur Mehmet Akif Ersoy University TÜRKİYE
Association Of Periodontitis Stage And Grade With Postoperative Inflammatory Markers Following Cardiac Valve Surgery: Preliminary Results	Assist. Prof. Dr. Mehmet Selim YILDIZ	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa TÜRKİYE

18.10.2026 / Hall-7, Session-3			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 878 7164 5645
	11 00 : 13 00		PASSCODE: 458472

HEAD OF SESSION: Dr. Aliyu IBRAHİM Yaradua

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Etween Law And Hierarchy: The Principle Of Legality, Hierarchical Authority And The Limits Of Internal Administrative Guidelines – A Study Of Immigration Procedures In Portugal	Rui Isidoro Vera Krischer João Ralha	Polytechnic University
Soil-Derived Microorganisms For Green Synthesis Of Silver Nanoparticles	Ms. Ishanityasri BALASUBRAMANIAM Assoc Prof Dr. Yang Chia-Yan EVYAN	Nilai University MALAYSIA
From Seafood By-Products To Health-Oriented Bioresources: Linking Circular Economy, Sustainability And Health In Souss-Massa, Morocco	Ez-zalmaty Youness, Bellali Fatima, Saadani Maainia and Kharroubi Meriem	Sultan Moulay Slimane University MOROCCO
Early-Life Stress Alters Neurodevelopment, Anxiety-Like Behavior, And Ethanol Consumption İn Adolescent Mice	ELHACHMI ER-RACHDAOUI, Laila BERROUG, Mounir El CHARKAOUI, Zakaria NADIR, Oumaima ESSADI, Fatiha CHIGR	Sultan Moulay Slimane University MOROCCO
Epidemics, Biotechnology, And Human Vulnerability In Paolo Bacigalupi's *The Windup Girl*	Gayathri P Dr.C.Vairavan	Deemed to be University CHENNAİ
Evaluation Of Maternal Nutritional Status And Treatment Outcomes Among Neonates With Jaundice At Federal Teaching Hospital, Katsina, Nigeria	Fatima ABDURRAHMAN*, Prof. Ismaila Alhaji UMAR, Dr. Ibrahim HAMZA Kankia, Dr. Aliyu IBRAHİM Yaradua	Umaru Musa Yar'adua University NIGERIA Ahmadu Bello University NIGERIA
From Local Potential To Shared Value: Government–Industry Collaboration For Pemalang Halal Creative Destination	Dwi Tika Wulan SARI, Fika DEALOVA, Cahya AMELIA, Ismi Nurhanıfah, Nindi Aulıa	Faculty of Islamic Economics and Busines INDONESIA
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 , Khaoula EL BARBI , Fatima Zahra BOUCHACHI , Mohamed Khalis, Mohamed Chahboune	Hassan First University MOROCCO Mohammed VI University MOROCCO Mohamed V University MOROCCO

18.10.2026 / Hall-8, Session-3			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 878 7164 5645
	11 00 : 13 00		PASSCODE: 458472

HEAD OF SESSION: Dr. Djenaoui Abdelatif

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Development Of A Sewage Sludge-Based Co/Biochar Catalyst For The Catalytic Reduction Of 4-Nitrophenol	Oumaima Sadik Mohammed Dahhou Majda Ben Ali Layla El Moussaoui Adnane El Hamidi Abdelekbir Bellaouchou	Mohammed V University MOROCCO
Histological Study Of The Cerebral Cortex Of Gerbillus Tarabuli (Thomas, 1902)	Naima Nemiri Souhila Benarab Farida Ait Siguer Meriem Touil Saliha Ouali- Hassenaoui	"University of Science and Technology Houari Boumediene ALGERIA" University of Boumerdes ALGERIA
Molecular Docking, Pharmacokinetic And Toxicity Prediction Of Origanum Vulgare Phytochemicals Against Brucella Melitensis Methionyl-Trna Synthetase	Henry Chiebuka Ngurukwem David Adzoyi Abizi Jibrin Umar Ashmar Olusegun Debola Oshibanjo	University of Jos NIGERIA
Performance And Blood Indices Of Female Broiler Chickens Under Different Bedding Treatments	Emmanuel Omenka Agbenyi Paul Ayaka Agabi Olive Onyinyechi Maduka Olusegun Debola Oshibanjo	University of Jos NIGERIA
Antioxidant, Anti-Inflammatory, And Metabolic Potential Of Malus Domestica In An Experimental Model Of Metabolic Syndrome	Nabila REZKALLAH leila SMAIL saliha BOUMAZA sarah MAAMRI khouloud HÉMILA asma AMALOU ghouti KACIMI nadjiba HAMLAT et souhila AOUICHAT- BOUGUERRA	Amar Telidji University ALGERIA
Phytochemical Profile And Antibacterial Potential Of Marrubium Vulgare L. From Djelfa, Algeria	Maamri Sarra Laoufi Razika Ait Mimoun Nouara Djeziri Mourad Alileche Khoukha	université Amar Telidji ALGERIA University M&hamed Bougara of Boumerdes ALGERIA Bouira University ALGERIA
Demographic Differences In The Seroprevelance Of Co-Infection Of Hcv & Hbv In Hiv Patients In Peshawar	Bela Inayat Kalsoom Tariq Ayesha Jameel	Biochemistry Department KGMC Peshawar , KPK , PAKISTAN
Dynamic, Context-Aware And Revocable Attribute-Based Encryption For Iot–Edge Computing	Dr. Djenaoui Abdelatif	University of M'sila ALGERIA
Food Security and International Cooperation: Building Resilient Agricultural Systems in a Changing World	Mustafa Nijat, Nasrullah Amini, Mehdi Rezai, Sara Safdari, Ali Sina Mohammadi, Shah Wali Rezaie, Sayed Ali Reza Balkhi, Nesar Hussain Mohammadi	Ghazi Amanullah Boys AFGHANISTAN

18.10.2026 / Hall-9, Session-3			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 878 7164 5645
	11 00 : 13 00		PASSCODE: 458472

HEAD OF SESSION: DR. CHUKWUEMEKA G. EME (Ph. D)

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Social Health Implications Of Skin Bleaching Among Residents Of Nasarawa State, Nigeria	Dorothy Akpovye BAGE-JOHN, PhD	Federal University NIGERIA
Construction-Related Offences And The Right To A Safe And Healthy Environment In The Republic Of Moldova	Vatamanita MARIANA	Stere"University of European Political and Economic Science MOLDOVA
Unveiling The Potential Of Epidemic-Resilient Architecture Through Cultural Integration & Responsiveness For Developing Countries: A Virtual Reality Exploration In Pakistan With Focus On Enduser Participation In Healthcare Facilities Sustainability.	Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti Prof. Dr. M. Asad Ghufran Prof. Dr. Atta Ullah Shah Muzaffar Aziz Iqbal	Tenured VC at Karakoram International University
Aspergillus Niger: A Promising Candidate In Millet Stalk Fermentation	Aliyu Abdullahi Aliyu Ibrahim Yaradua Abdullahi Nasir , Ibrahim Hamza Kankia Rufai Nasir , Musa Musa. Gumel Ibrahim Banki Lawan, Ahmad Rufai Bello , Mustapha Aliyu ,Amina Yahaya Sani	Al-Qalam University NIGERIA Umaru Musa Yaradua University NIGERIA Federal University NIGERIA
Advance In Vaccine Adjuvant Development And Future Perspectivs	Madhumitha . S Ameerah Z Sarvanan R	-
Flavonoids As Natural Antioxidants And Therapeutic Agents	Madhumitha .S karthick. M kalaivanan. S ameerah. Z	Bharath Institute of Higher Education and Research INDIA
The Effects Of Leadership Styles On Organizational Performance: An Empirical Evidence From Selected Manufacturing Firms In Nigeria	DR. CHUKWUEMEKA G. EME (Ph. D)	Open University of NIGERIA
The Role Of Staff Training And Management Development On Employee Engagement And Motivation In The Nigerian Public Sector - A Case Of National Open University Of Nigeria (Noun)	DR CHUKWUEMEKA GODSON EME	Open University of NIGERIA
The Effects Of Strategic Intelligence On Competitive Advantage In The Nigerian Food And Beverage Manaufacturing Industry	DR. CHUKWUEMEKA G. EME (Ph. D)	Open University of NIGERIA
Social Resilience Training for Active Women	Noorjan Mossawi	Ahlul bayt international university of IRAN

18.10.2026 / Hall-10, Session-3			
	ANKARA LOCAL TIME		MEETING ID: 878 7164 5645
	11 00 : 13 00		PASSCODE: 458472

HEAD OF SESSION: Dr.R.Srinivasan

TOPIC TITLE	AUTHORS	AFFILIATION
Quantum Mechanical Studies And Monte Carlo Simulations On The Corrosion Inhibitive Potentials Of Some Imidazole Derivatives	T. O. Esan, K. E Ajibulu, O. L., Adebayo, I. Osasona, A.D Olanipekun	Bamidele Olumilua University NIGERIA
Role Of Lactobacillus In Gut Microbiota	Preethi.B , Janani.S.S , Ragul.R , Elavarasi , Jaya raj.K , Desiga mani.A David.G ,Jayaramakani.N Dr.R.Srinivasan	Bharath Institute of Higher Education and Research INDIA
Probiotics As Natural Defenders Of Human Health	Janani.S.S ,Preethi.B ,Jayaramakani.N , Dr.R.Srinivasan	Bharath Institute of Higher Education and Research INDIA
Knowledge And Practice Of Personal Hygiene Towards Cholera Prevention And Control Among Residents Of Osin Community, Ilorin West Lga, Kwara State	Kafayah . A. jiddah Barakah . A. Masuud	University of Ilorin NIGERIA
Knowledge, Attitudes, And Practices Regarding Cardiopulmonary Resuscitation Among Healthcare Professionals In Marrakech, Morocco: A Cross-Sectional Study Of Associated Factors	EL KAMMAA Ahmed BENKSIM Abdelhafid, ABOU ELHASSAN Taoufik, NEJMI Hicham	Cadi Ayyad University MOROCCO
Overview And Epidemiology Of Non-Tuberculous Mycobacteria Isolated From Wild Animals In Africa.	BELLIL Dassine , GHAROUT-SAIT Alima, DJOUDI Ferhat, BELLIL Zahra , MENDIL Ouidad, MANSEUR Lyticia, DIB-SAIT Sabrina	Université de Bejaia ALGERIA
Integrated Evaluation Of Groundwater Quality And Suitability For Drinking And Irrigation In Southeastern Morocco: The Feija Region	Hamid Nadi, Hicham Ouhakki, Sihame Hafidi , Nabila Auajjar , Naima Dohou, Khalid Yamni,Moulay Laarbi Ouahidi	Ibn Tofail University MOROCCO Cadi Ayyad University MOROCCO
The “Just Leave Me Alone” Phenomenon And Social Fatigue Among Adolescents In The Digital Era: A Descriptive Survey Of Students At Mtsn 1 Banda Aceh	Faiha Alkaisara Ulima Halimatussakdiah	Madrasah Tsanawiyah I Banda Aceh, INDONESIA
Advances in Animal Housing Design and Their Physiological Impact on Livestock Health and Productivity	Oussama Mahmoudi	Mohamed-Cherif Messaadia University ALGERIA

PHOTO GALLERY



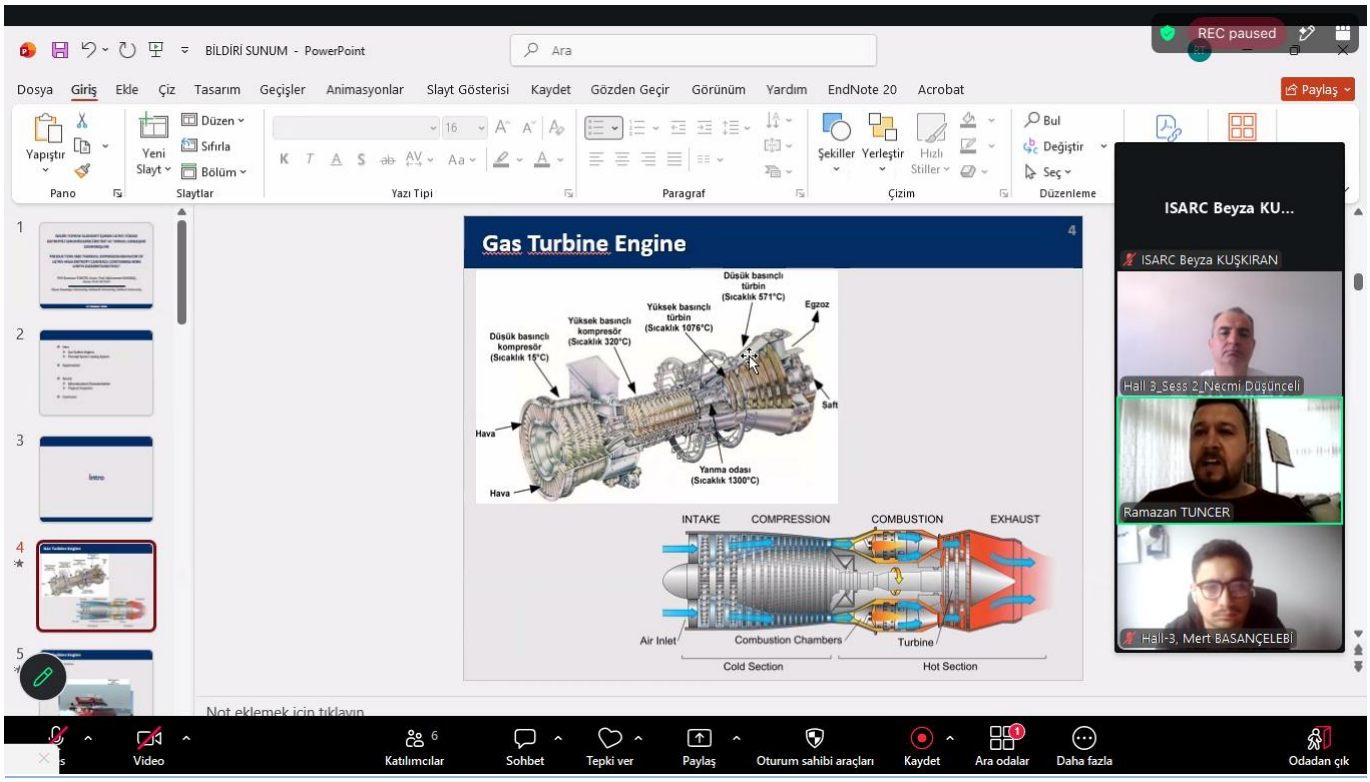
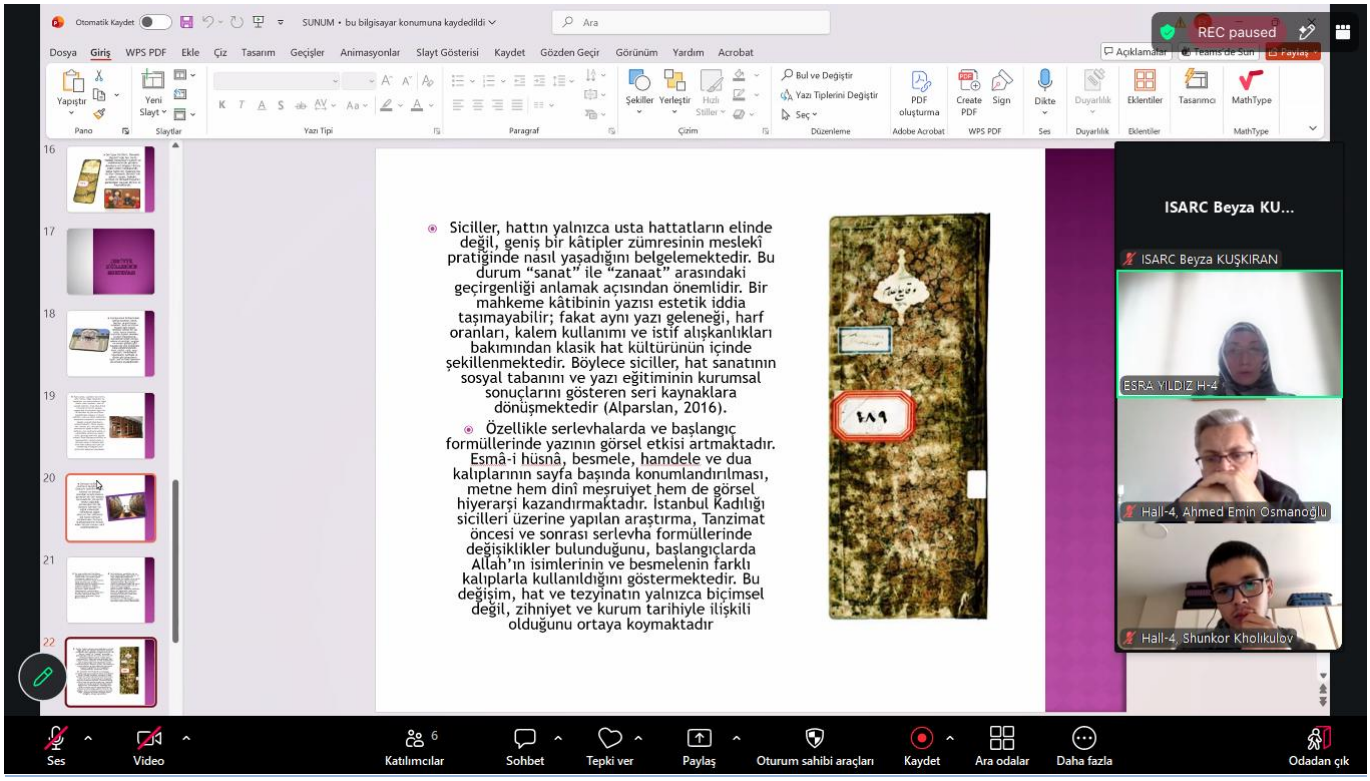


PHOTO GALLERY



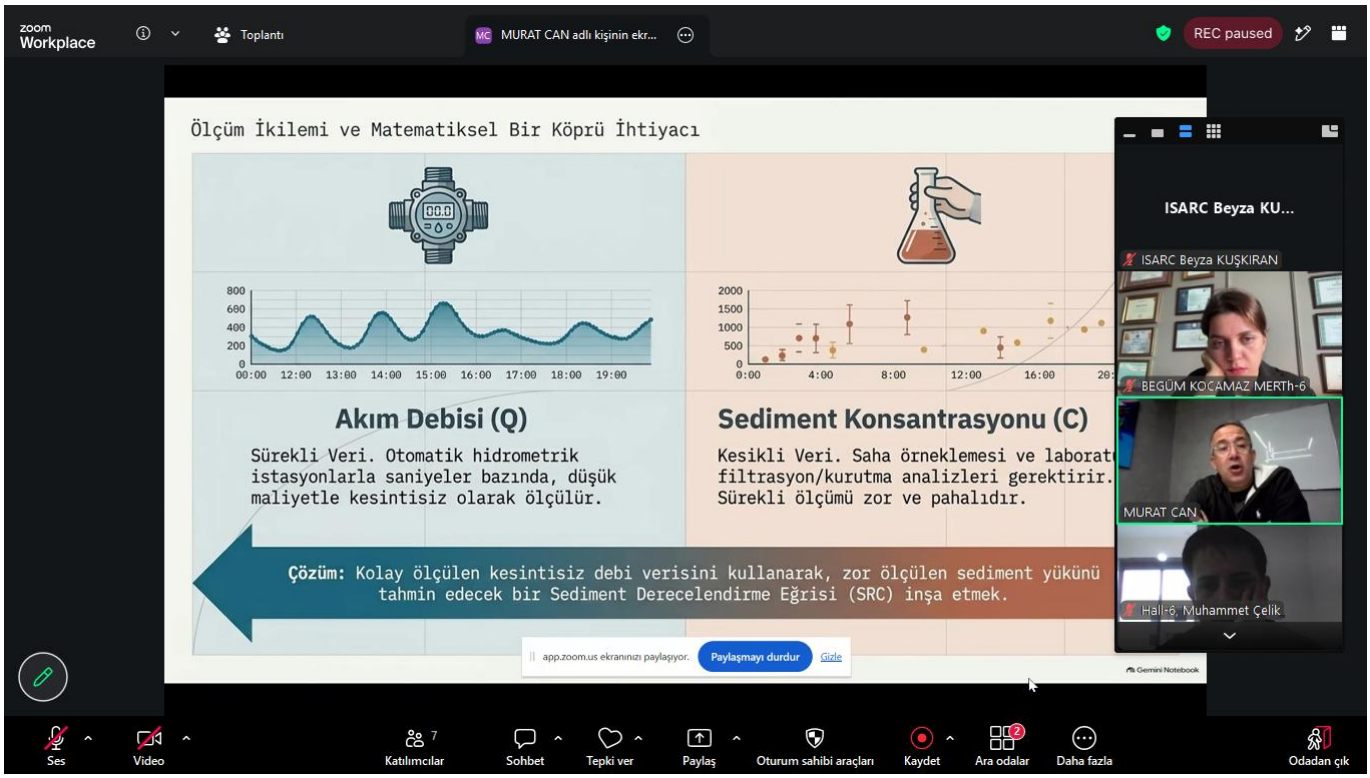
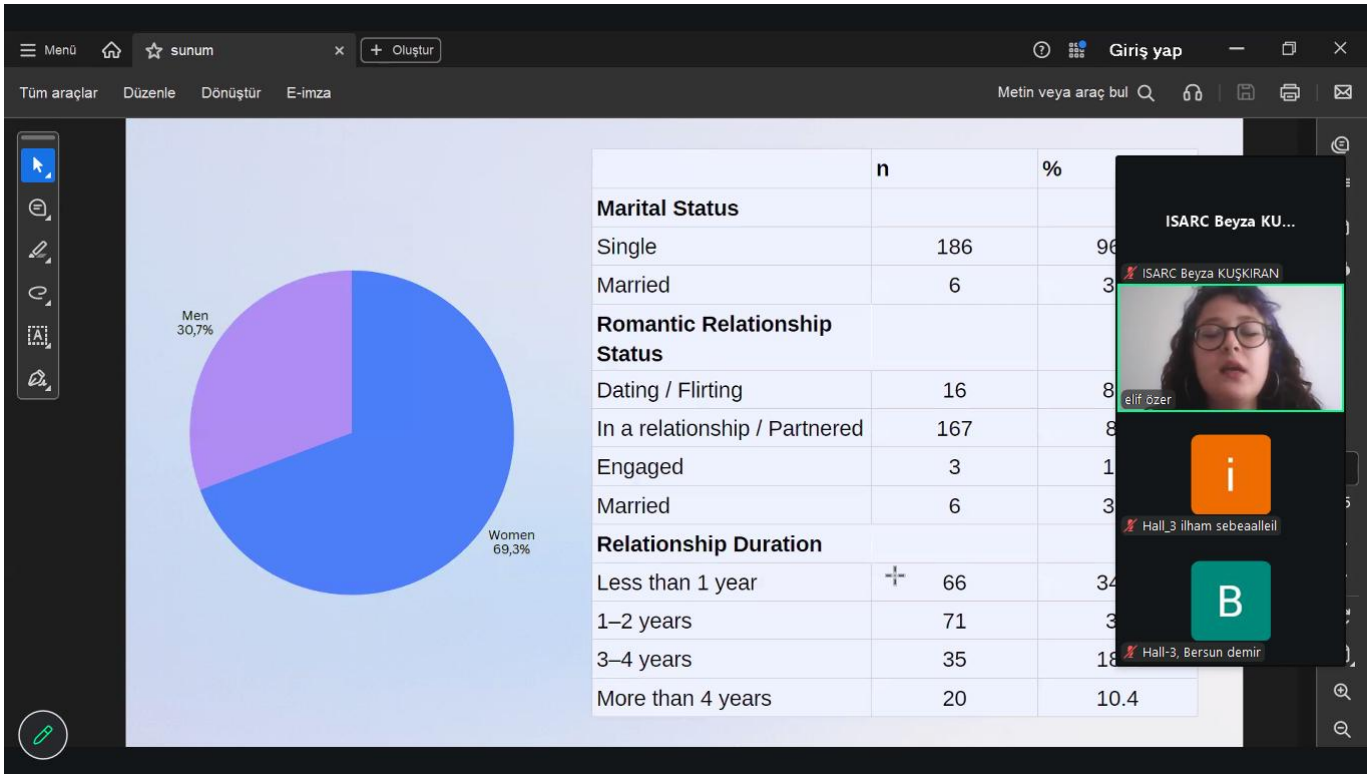


PHOTO GALLERY



	n	%
Marital Status		
Single	186	96
Married	6	3
Romantic Relationship Status		
Dating / Flirting	16	8
In a relationship / Partnered	167	8
Engaged	3	1
Married	6	3
Relationship Duration		
Less than 1 year	66	34
1–2 years	71	3
3–4 years	35	18
More than 4 years	20	10.4

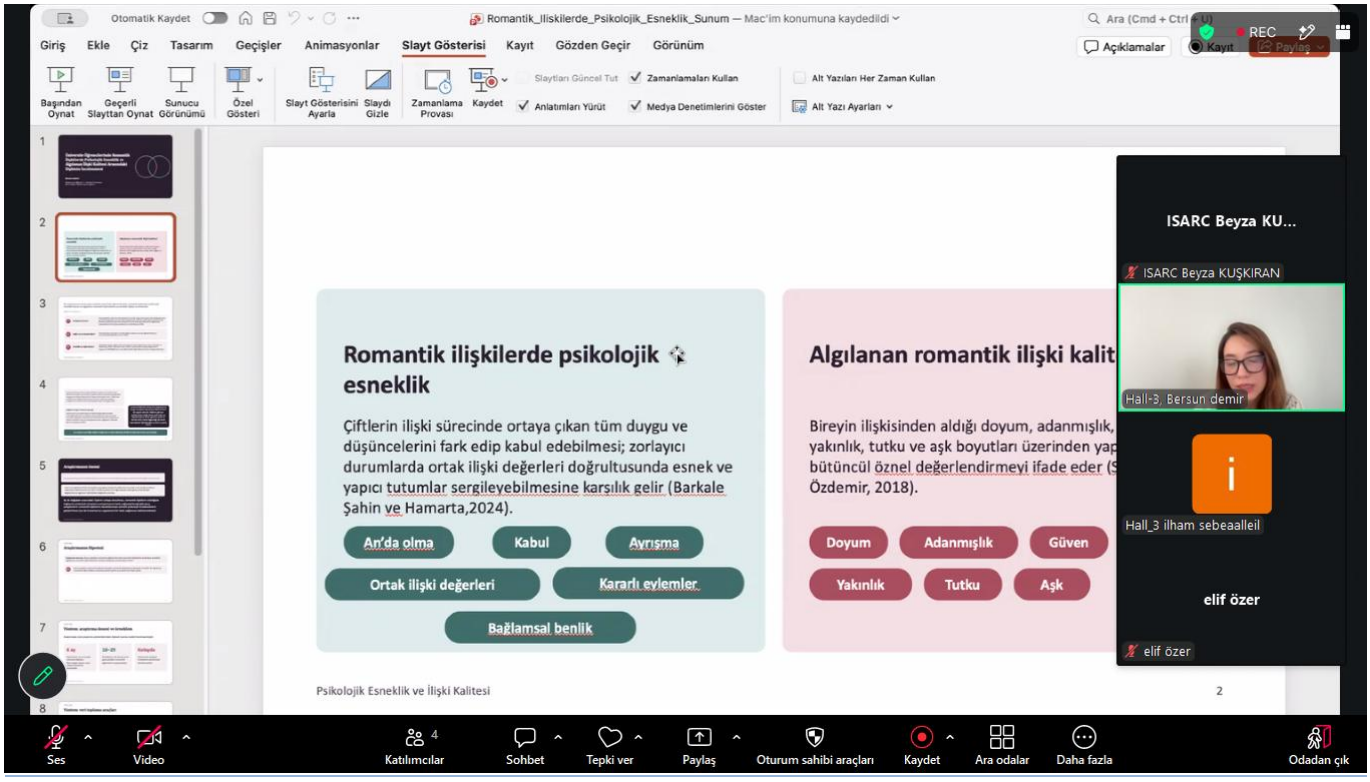


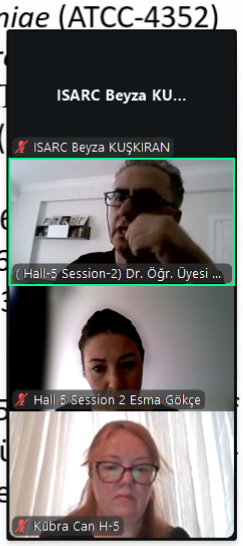
PHOTO GALLERY

Petri Kodu	Bileşik Kodu	(A) Bs (*Bacillus Subtilis*) ATCC 11774	(B) *Bc* (*Bacillus Cereus*) ATCC 11778	(D) *Kp* (*Klebsiella Pneumoniae*) ATCC 4352	(E) *Sa* (*Staphylococcus Aureus*)	(S) S. marcescens ATCC138880	(G) Ca (Candida Albicans) ATCC 60193
35	3a	8	-	-	-	-	-
36	3b	-	-	-	-	9	-
37	3c	8	-	-	-	-	-
38	3d	8	-	-	-	-	-
39	3e	8	8	8	-	8	8
40	3f	-	-	-	-	-	8
41	3g	-	-	-	-	8	-
42	3h	8	-	-	8	-	-
43	3i	-	-	-	-	10	8
DMSO	Dimetilsülfoksit	-	-	-	-	-	
NEO.	Neomycin trisulfate salt hydrate	26	27	24	24	23	27
AMP.	Ampulicilin sodıum	32	13	19	19	18	25
STR.	Streptpmycin sulfate	29	27	26	26	25	30

Bs: *Bacillus subtilis* (ATCC-11774)
Bc: *Bacillus cereus* (ATCC-11778)
Kp: *Klebsiella pneumoniae* (ATCC-4352)
Sa: *Staphylococcus aur*
Sm: *S. Marcescens*,(AT
Ca: *Candida albicans* (

Amp.: Ampicillin (X32
Neo.: Neomycin (X336
Str.: Streptomycin (X3

İnhibisyon çapına
değerlendirmede: <5
etki (-); 5.5-10 mm dü
16 mm orta düzeyde e
yüksek etki (+++)



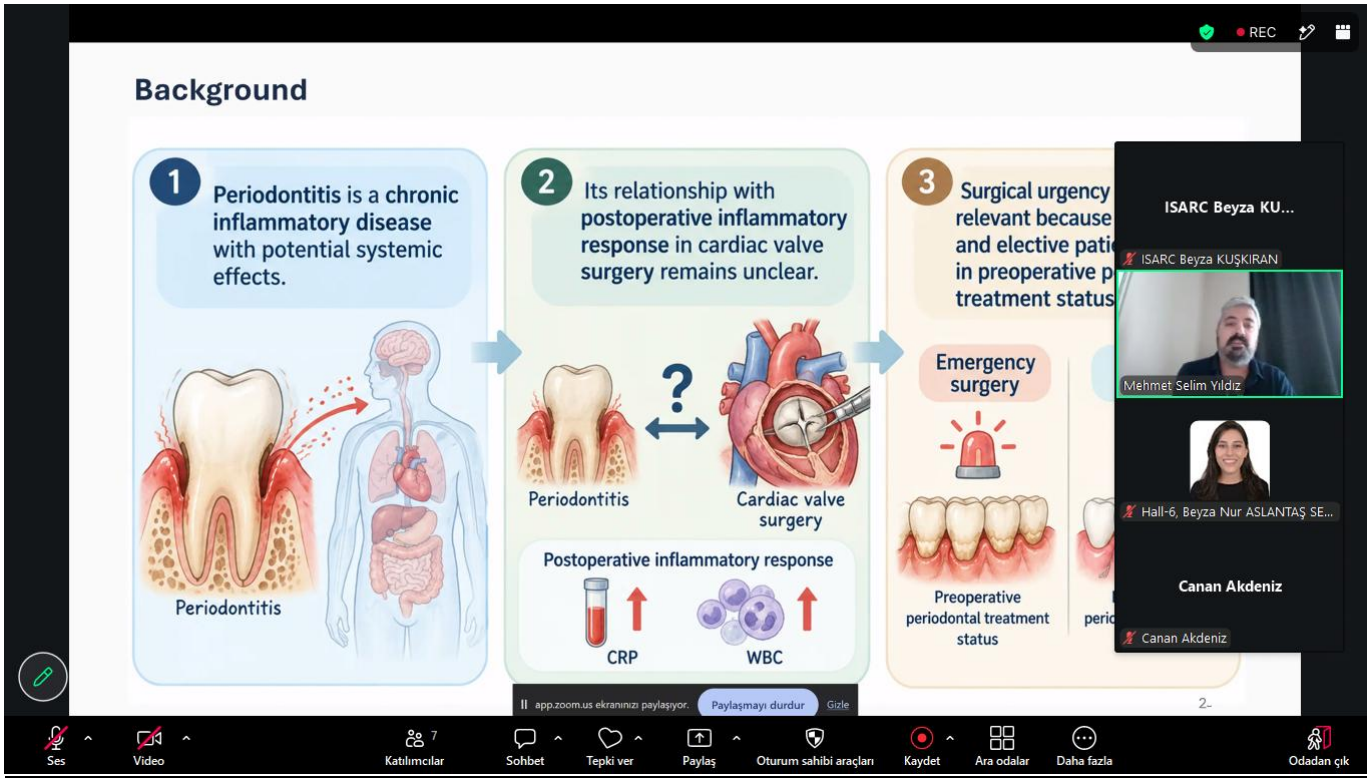
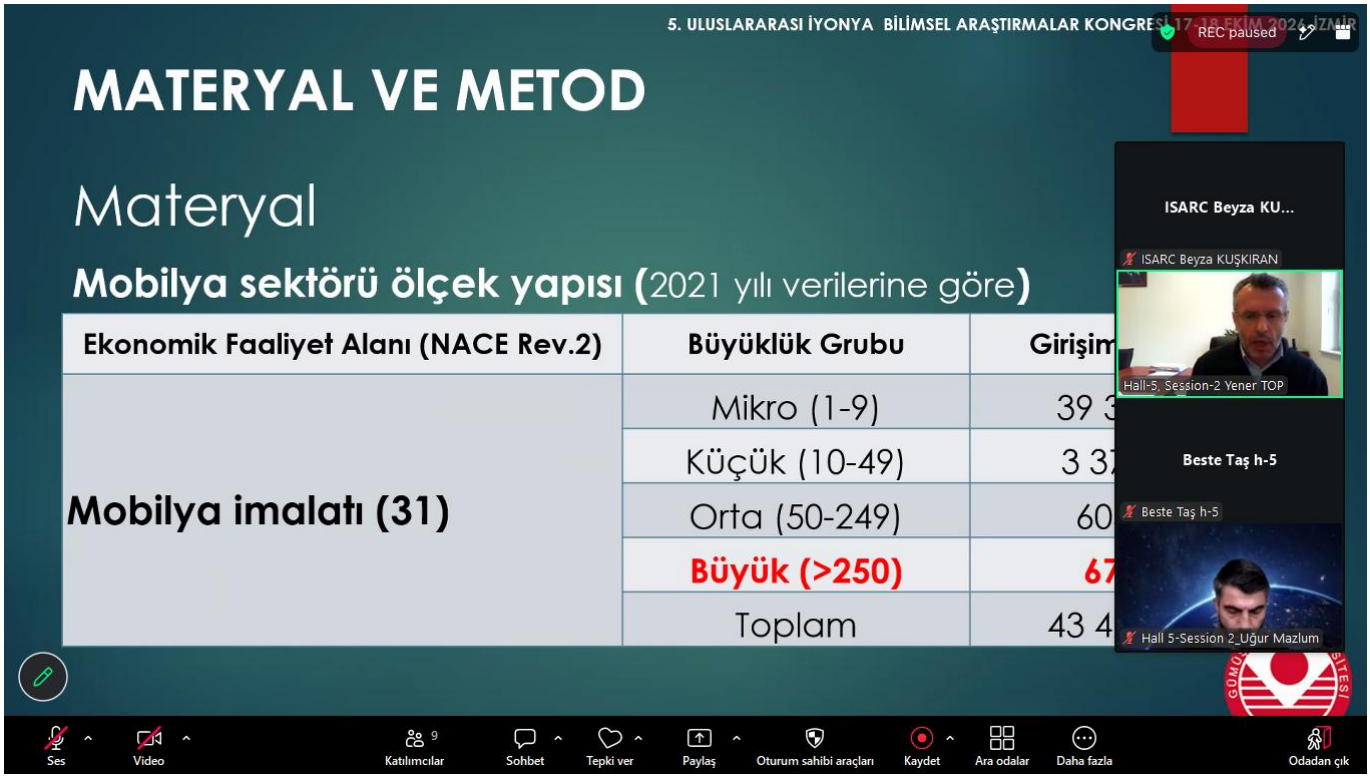
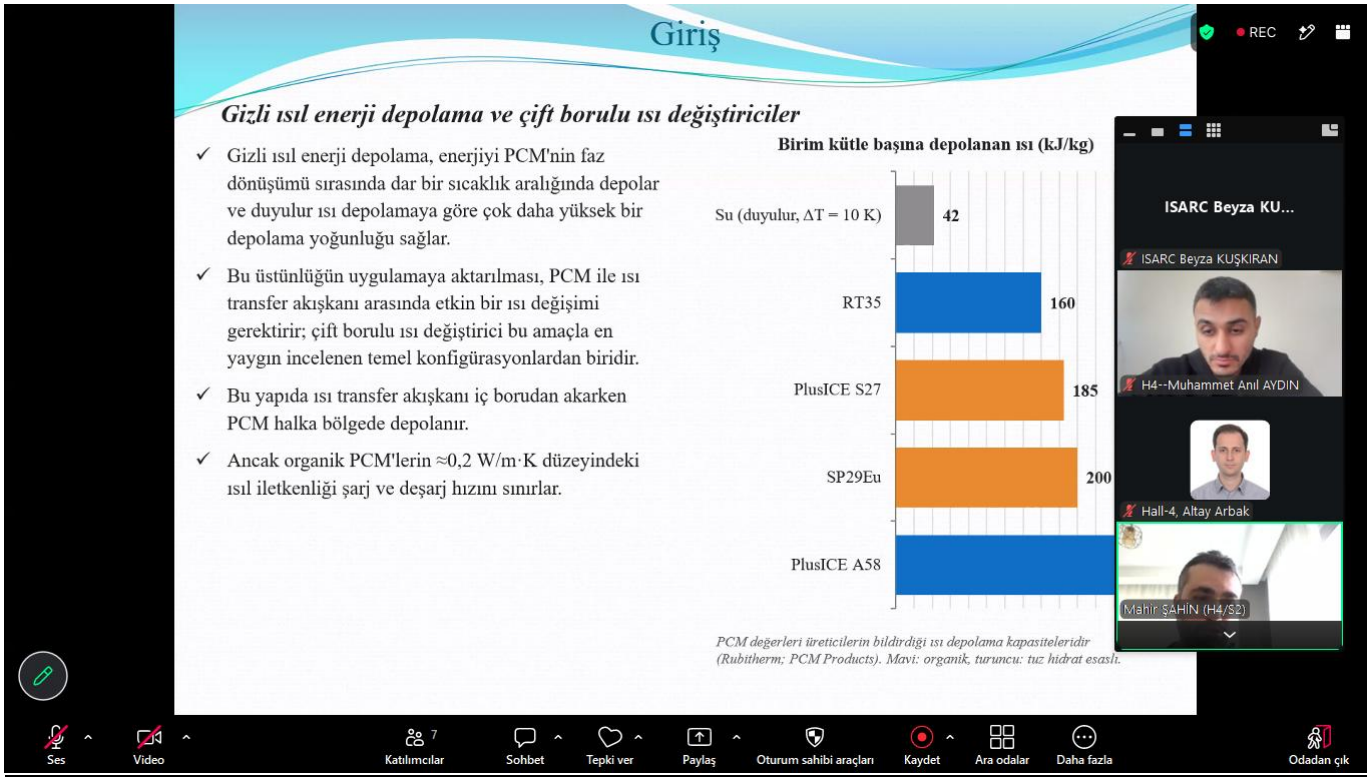


PHOTO GALLERY





INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

KONU:KONGRE KATILIMCI BİLGİSİ **26.10.2026**

İLGİLİ MAKAMA

5. ULUSLARARASI İYONYA BİLİMSEL ARAŞTIRMALAR KONGRESİ 17-18 EKİM 2026 tarihleri arasında İZMİR'de ve online olarak 13 farklı ülkeden (Türkiye:81 ve diğer Ülkeler:87; Toplam:168) 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
Ahmed Emin OSMANOĞLU	DISABILITY REPRESENTATIONS IN A FOURTH-GRADE SOCIAL STUDIES TEXTBOOK	1-12
Eyüp ARIK	DESIGN-ORIENTED ASSESSMENT OF CORROSION IN DIFFERENT MATERIAL GROUPS UNDER MARINE ATMOSPHERIC CONDITIONS AND DEVELOPMENT OF A DECISION-SUPPORT FRAMEWORK	13-20
Mahir ŞAHİN Mustafa KILIÇ	PERFORMANCE EVALUATION OF DIFFERENT TYPES OF PHASE CHANGE MATERIALS IN DOUBLE-PIPE HEAT EXCHANGERS	21-38
Mahir ŞAHİN Mustafa KILIÇ	A REVIEW OF SOLID-PROPELLANT THRUST VECTOR CONTROL SYSTEMS FOR MICROSATELLITES	39-54
İsmail Nurullah UTLİ Orhan KAVAK	FORENSIC GEOLOGY APPROACHES BASED ON SOIL ANALYSIS IN POST-DISASTER CRIME SCENE INVESTIGATIONS	55-59
İsmail Nurullah UTLİ Orhan KAVAK	GEOSCIENTIFIC APPROACHES IN FORENSIC INCIDENTS: GEOPHYSICAL AND GEOTECHNICAL EVALUATION OF COLLAPSED BUILDING SITES IN DIYARBAKIR DURING THE FEBRUARY 6, 2023 EARTHQUAKES	60-64
Altay ARBAK	*ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS IN THE HVAC SECTOR: A REVIEW OF CURRENT APPROACHES, CHALLENGES AND FUTURE DIRECTIONS*	65-79
Yusuf YILMAZ Mustafa HAYTA Ayşenur KOÇ	FABRICATION AND CHARACTERIZATION OF ELECTROSPUN PA66 NANOFIBERS INCORPORATED WITH ST. JOHN'S WORT OIL (*HYPERICUM PERFORATUM* L.) FOR BIOMEDICAL APPLICATIONS	80-86
Yusuf YILMAZ Mustafa HAYTA Ayşenur KOÇ	FABRICATION AND CHARACTERIZATION OF ELECTROSPUN PVA NANOFIBERS INCORPORATED WITH AQUEOUS THYME EXTRACT FOR BIOMEDICAL APPLICATIONS	87-92
Abdurrahman OLGUN Uğur MAZLUM	CONSIDERATIONS IN THE LOCATION SELECTION OF FIRE STATIONS: A RISK-ORIENTED, ACCESSIBLE, AND RESILIENT SETTLEMENT MODEL	93-103
Abdurrahman OLGUN Uğur MAZLUM	FIRE SAFETY IN HOSPITAL BUILDINGS: CHALLENGES, DESIGN APPROACHES, AND SOLUTION PROPOSALS IN THE CONTEXT OF TURKEY	104-113
Önder ALBAYRAK Fevzi AYTEMİZ	INVESTIGATION OF THE ANTIMICROBIAL ACTIVITIES OF 3-ALKYL/ARYL-4-(5-METHYL-2-THIENYLMETHYLENEAMINO)-4,5-DIHYDRO-1*H*-1,2,4-TRIAZOL-5-ONE DERIVATIVES	114-122
Elif Kübra ÖZER Elçin YORULMAZ	THE MEDIATING ROLE OF INTERPERSONAL DEPENDENCY IN THE RELATIONSHIP BETWEEN PERCEIVED PARENTING STYLE AND JEALOUSY TOWARD A ROMANTIC PARTNER IN EMERGING ADULTHOOD	123-145
Alp ÖZEL Senanur AKINCI Gamze AYDIN Kiana Meftahi NAMİN Roubina FATEHRAD	PHYSICAL ACTIVITY IS ASSOCIATED WITH FUNCTIONAL WALKING CAPACITY AND ONE-MINUTE HEART RATE RECOVERY IN HEALTHY YOUNG ADULTS: A CROSS-SECTIONAL STUDY	146-162
Ramazan TUNCER Muhammet KARABAŞ Ali AVCI	PRODUCTION AND THERMAL EXPANSION BEHAVIOR OF ULTRA-HIGH ENTROPY CERAMICS CONTAINING RARE EARTH ELEMENTS	163-170
Alper GÖNÜL Seray KAYA Selen DURAK Tülin VURAL ARSLAN	FROM BUILDING TO STREET: THE MULTI-SCALAR ARCHITECTURAL IMPACT OF URBAN REGENERATION PRACTICES IN A TURKISH SECONDARY CITY	171-184
Taner İlker GÜMRÜKÇÜOĞLU	COMPARISON OF ANTIOXIDANT CAPACITIES OF DIFFERENT TREE SPECIES	185-192
Nazım SEVER Hüseyin MERTOL Nisa Gökden KAYA	TOKAT MUNICIPALITY TOY MUSEUM	193-197
Nazım SEVER Hüseyin MERTOL Nisa Gökden KAYA	CHILD-FRIENDLY CITY TOKAT	198-205
Muhammet Anıl AYDIN Gülsüm ÖZTÜRK	*IN VITRO* PROPAGATION OF *ALLIUM* SP.	206-210
Muhammet Anıl AYDIN Gülsüm ÖZTÜRK	*INVESTIGATION OF IN VITRO SHOOT REGENERATION IN TULIP*	211-214

Levent KAVAK Kadir ÇETİN	A METAPHORICAL ANALYSIS OF CHEF CANDIDATES' PERCEPTIONS OF HIERARCHY, GENDER DISCRIMINATION, CREATIVITY, AND SUSTAINABILITY IN PROFESSIONAL KITCHENS	215-228
Burcu ÖKSÜZ KAYA İlknur KILINÇ	WHAT IS AND ISN'T A NEWSJACKING STRATEGY?	229-241
Burcu ÖKSÜZ KAYA İlknur KILINÇ	HOW ARE VOLUNTEERING COURSES TAUGHT AT UNIVERSITIES?	242-255
Murat CAN	SUSPENDED SEDIMENT TRANSPORT AND RATING CURVE ANALYSIS IN THE ÇINARCIK DAM RESERVOIR	256-261
Muhammet Çelik	SYNTHESIS, SPECTROSCOPIC CHARACTERIZATION, and OPTICAL PROPERTIES of a NOVEL SCHIFF BASE LIGAND and ITS LANTHANUM(III) COMPLEX	262-274
Muhammet Çelik	SYNTHESIS, SPECTROSCOPIC CHARACTERIZATION and OPTICAL PROPERTIES of a NOVEL SCHIFF BASE LIGAND and ITS CERIUM(III) COMPLEX	275-288
Yunus DOĞAN Cemal Hakan DİKMEN	ANALYSIS OF IoT-BASED ENVIRONMENTAL MONITORING DATA IN ENTERPRISE SERVER ROOMS: ENERGY EFFICIENCY, ANOMALY DETECTION AND DATA QUALITY	289-299
Önder KORKMAZ Mustafa GÜÇLÜ	THE TRANSFORMATION OF THE TEACHER IMAGE FROM THE ESTABLISHMENT OF THE TURKISH REPUBLIC TO THE PRESENT: SOCIAL MEANING, ROLES, AND THE IDEAL TEACHER	300-306
Özlem Yıldız Aslı Atalay Rosida Defne Yıldırım Zeynep Ezgi Sağdıç	CULTURAL HERITAGE EDUCATION IN CITIES WITHOUT MUSEUMS: AIOLIS DIGITAL ARCHAEOLOGY AND TILE MUSEUM PROJECT	307-325
Necmi DÜŞÜNCELİ	TIME-DEPENDENT MECHANICAL BEHAVIOR OF 3D-PRINTED POLY(LACTIC) ACID (PLA): ANALYSIS OF RATE-DEPENDENT AND STRAIN-DEPENDENT CREEP AND RELAXATION RESPONSES	326-334
Oben ADAK Mehmet ACI	DEVELOPING A SOLUTION TO THE TURKISH GRAMMAR INDUCTION PROBLEM THROUGH COMPARATIVE ANALYSES	335-350
Oben ADAK Mehmet ACI	FEDERATED LEARNING FOR TURKISH FAKE NEWS DETECTION: A COMPARATIVE ANALYSIS OF ARCHITECTURE, NUMBER OF CLIENTS, AND LOCAL TRAINING EPOCHS	351-362
Serpil CELIK TOKER Gamze SOYTURK Onder KIZILKAN	PV-DRIVEN SEAWATER DESALINATION IN TÜRKIYE: A COMPARATIVE ENERGY, WATER AND EXERGY ASSESSMENT	363-375
Onder KIZILKAN Gamze SOYTURK Serpil CELIK TOKER	SOLAR-CHARGED TWO-STAGE ADIABATIC COMPRESSED AIR ENERGY STORAGE WITH HEAT CO-GENERATION FOR AN INLAND HIGH-ALTITUDE CITY: THE CASE OF ISPARTA, TÜRKİYE	376-389
Tugba Tetik	DECOMPOSING THE COLD-WEATHER ENERGY PENALTY OF PLUG-IN HYBRID ELECTRIC VEHICLES IN NATURALISTIC DRIVING DATA	390-404
Mert BASANÇELEBİ İrem ŞENYER YAPICI Rukiye UZUN ARSLAN	CLASSIFICATION OF THALASSEMIA- and HEMOGLOBINOPATHY-RELATED PATTERNS FROM CBC DATA USING RANDOM OVERSAMPLING AND METAHEURISTIC FEATURE SELECTION	405-413
Mert BASANÇELEBİ İrem ŞENYER YAPICI Rukiye UZUN ARSLAN	UNDERSAMPLING APPROACHES TO ADDRESS CLASS IMBALANCE: CLASSIFICATION OF HEMATOLOGICAL PROFILES ASSOCIATED WITH THALASSEMIA AND HEMOGLOBIN DISORDERS USING CBC DATA	414-423
Sadık Can OKYAY Murat HATİPOĞLU	CHEMOMETRIC CHARACTERIZATION OF THE TURQUOISE MINERAL FROM MINERALOGICAL AND GEMOLOGICAL PERSPECTIVES	424-432
Reha AVŞAR	RELIABILITY OF SHAP EXPLANATIONS FOR MACHINE-LEARNING CORRECTIONS OF RANS TURBULENCE MODELS	433-445
Gülnihal ALTUN	DOMESTIC VIOLENCE AND PERSONALITY TRAITS: A THEORETICAL EVALUATION WITHIN THE FRAMEWORK OF THE FIVE-FACTOR MODEL OF PERSONALITY	446-454
Gülnihal ALTUN	*ALGORITHMIC DECISION-MAKING IN SOCIAL WORK: PROFESSIONAL DISCRETION, HUMAN-AI COLLABORATION, AND ACCOUNTABILITY*	455-460
Ayhan IŞIK Nursena SUBAŞI	FROM DĀR AL-TAQRĪB TO MAJMAʿ AL-TAQRĪB: THE INSTITUTIONALIZATION PROCESS AND CONTEMPORARY FUNCTIONALITY OF THE TAQRĪB AL-MADHĀHIB MOVEMENT	461-471
Ayhan IŞIK Shunkor KHOLIKULOV	THE RADICALIZATION PROCESS IN THE FERGHANA VALLEY: AN ANALYSIS OF THE ISLAMIC MOVEMENT OF UZBEKİSTAN	472-484

Zekeriya ÖZÜDOĞRU Muhammet Alperen FİDAN	ANATOMY OF THE TRACHEA IN MALAKLI DOGS	485-490
Zekeriya ÖZÜDOĞRU Muhammet Alperen FİDAN Ramazan İLGÜN	ANATOMICAL STRUCTURE OF THE LARYNX IN AKSARAY MALAKLI DOGS	491-498
Şener MUTLU	EFFECTS OF PLAYER NUMBER AND COURT DIMENSION MODIFICATIONS ON ACUTE PHYSIOLOGICAL, PERCEPTUAL, AND MECHANICAL WORKLOAD PARAMETERS IN INDOOR VOLLEYBALL: AN EXPANDED SYSTEMATIC REVIEW	499-502
Ece Acar	VIRTUAL REALITY IN STROKE REHABILITATION: CURRENT EVIDENCE FROM THE UPPER EXTREMITY TO GAIT	503-507
Ece Acar	DIGITAL EXERCISE AND TELEREHABILITATION IN MUSCULOSKELETAL REHABILITATION: CURRENT EVIDENCE	508-513
Esra YILDIZ	THE CONTRIBUTIONS OF ŞER‘İYYE SICILS TO TURKISH-ISLAMIC ARTS	514-525
Esra YILDIZ	CHARACTERISTICS OF EARLY SĪRA SOURCES	526-532
Furkan Berkay TAMER Aykut ÇANAKÇI Sedat Alperen TUNÇ	INVESTIGATION OF THE SURFACE TOPOGRAPHY AND CORROSION BEHAVIOR OF TiO_2-COATED AISI 431 STAINLESS STEEL	533-539
Furkan Berkay TAMER Aykut ÇANAKÇI Sedat Alperen TUNÇ	INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SULFURIC ACID ANODIZING TIME ON THE OXIDE LAYER MORPHOLOGY AND SURFACE TOPOGRAPHY OF AA7075 ALUMINUM ALLOY	540-552
Mehmet Serhan DÜZCE Mehmet MİLLİ	DEVELOPMENT OF A RAG-AUGMENTED LLM-BASED LEGAL ASSISTANT AND EVALUATION OF RESPONSE ADEQUACY FROM DETERMINISTIC AND STOCHASTIC PERSPECTIVES	553-562
Begüm KOCAMAZ MERT	THE ROLE AND LEGAL NATURE OF THE FATF IN COMBATING THE FINANCING OF TERRORISM	563-571
Mehmet Selim YILDIZ	ASSOCIATION OF PERIODONTITIS STAGE AND GRADE WITH POSTOPERATIVE INFLAMMATORY MARKERS FOLLOWING CARDIAC VALVE SURGERY: PRELIMINARY RESULTS	572-573
Umut Can DUVARCI	EXTENSIVE HEMATOMA AND RECURRENT ANEMIA FOLLOWING HIP HEMIARTHROPLASTY: ASSESSMENT OF BROMELAIN-CONTAINING SUPPLEMENT USE	574-575
Kübra CENGİZ KUŞ İlker İNAM	MODULAR FORMS AND DIFFERENTIAL EQUATIONS	576-577
Əfəndiyeva Səadət Məcid qızı	POLITICAL MANAGEMENT AND POLITICAL TECHNOLOGIES: CONCEPTUAL FOUNDATIONS AND FUNCTIONAL STRUCTURE THE CONCEPT OF POLITICAL MANAGEMENT AND THE TECHNOLOGICAL SUBSYSTEM	578-580
İlham Sebea Alleil	THE EFFECT OF FORCED DISPLACEMENT ON IDENTITY, BELONGING, AND FUTURE PERCEPTION: A PSYCHOSOCIAL STUDY ON SYRIAN YOUTH	581-582
Bersun DEMİR	INVESTIGATING THE RELATIONSHIP BETWEEN PSYCHOLOGICAL FLEXIBILITY IN ROMANTIC RELATIONSHIPS AND PERCEIVED ROMANTIC RELATIONSHIP QUALITY AMONG UNIVERSITY STUDENTS	583-584
Ilaha Khaleddin gizi VALIYEVA	DIGITAL COMPARATIVE ANALYSIS OF AZERBAIJANI AND TURKISH LITERATURE: TEXT, CITY AND NATIONAL IDENTITY	585-588
Esra DEMİRCİ	AI-BASED DECISION SUPPORT IN ERP SYSTEMS: SMART PLANNING, DEMAND FORECASTING, AND PREDICTIVE MAINTENANCE	589-590
Esra DEMİRCİ	ERP-BASED DIGITAL TWIN DECISION SUPPORT PLATFORM FOR INDUSTRIAL PRODUCTION AND SUPPLY CHAIN PROCESSES: SIMULATION AND SCENARIO ANALYSIS	591-592
Mutlu Çağrı YİĞİT Abdullah ÖTER Umut DURAN	EFFECT OF TEMPERING TEMPERATURE ON THE MECHANICAL PROPERTIES and IN-SERVICE PERFORMANCE OF BOLT TUBES PRODUCED FROM 28Mn6 STEEL	593-594
Zeynep AYLANÇ Burak DİNDAROĞLU	FORECASTS FOR THE ADOPTION AND DIFFUSION OF AUTONOMOUS DRIVING: AN ASSESSMENT USING DELPHI AND AHP	595-596
Can DEMİRKESEN Nilay TULUKCU YILDIZBAŞ	AN ANALYSIS OF ENGINEERING AUTHORITY BOUNDARIES UNDER LAW NO. 5531 IN THE LIGHT OF JUDICIAL DECISIONS	597-598
Beste Taş Nur Umar	THE MULTI-LAYERED CULTURAL HERITAGE OF KALECİK VİLLAGE: TRADITIONAL ARCHITECTURE, ARCHAEOLOGICAL TRACES, AND CONSERVATION ISSUES	599-601

Yener TOP	IMPORTS DESPITE EXPORT SURPLUS: A STUDY OF THE TÜRKIYE FURNITURE SECTOR	602-603
Yılmaz SARIER Ersin KARADEMİR Suzan Duygu ERİŞTİ Uğur BOZKURT Şengül ŞEBER Semih ESENDEMİR	VALUATION OF THE TÜBİTAK 4008 PROJECT "STEAM-BASED DISCOVERY AND DESIGN ADVENTURE OF PRE-SERVICE SPECIAL EDUCATION TEACHERS"	604
Fahriye SARI	TERNARY METAL OXIDE/G-C_3N_4/CHALCOGENIDE HETEROJUNCTIONS FOR VISIBLE-LIGHT-DRIVEN PHOTOCATALYTIC HYDROGEN EVOLUTION: INTERFACIAL ENGINEERING AND CHARGE-TRANSFER MECHANISMS	606-607
Fahriye SARI	COMPOSITION ENGINEERING OF MULTIMETALLIC CHALCOGENIDE ELECTRODES FOR ADVANCED HYBRID SUPERCAPACITORS	608
Hayri Volkan Agun	RELATION EXTRACTION FROM TURKISH TEXT USING MORPHOLOGICAL ANALYSIS, UNIFICATION-BASED PARSING, AND RELATION FILTERS	609-610
Seda Güney	PALLIATIVE NURSING CARE FOR ADVANCED DEMENTIA PATIENTS IN RURAL AND URBAN AREAS: ACCESS BARRIERS AND NURSING APPROACHES	611-612
Sema Nur ŞAHİN ARSLAN Emrullah ŞANALAN	CHRONIC DISEASE MANAGEMENT AND OLDER ADULT FOLLOW-UP IN PRIMARY CARE: KNOWLEDGE, ATTITUDES, AND PRACTICE	613-614
Ebru ULUÇAY BEKTAŞ Talip BEKTAŞ	IDENTIFYING PRACTICES USED BY PRESCHOOL TEACHERS TO DEVELOP CHILDREN'S SENSORY RECOGNITION SKILLS THROUGH TURKISH LANGUAGE ACTIVITIES	615-616
Ebru ULUÇAY BEKTAŞ Talip BEKTAŞ	CHILD DEVELOPMENT PROGRAM STUDENTS' PERSPECTIVES ON PHYSICAL ACTIVITIES (THE CASE OF KAFKAS UNIVERSITY)	617-618
Beyza Nur ASLANTAŞ SERİN Sajjad SHADIAN Birgül BALCI Sibel CANBAZ KABAY	ASSOCIATION BETWEEN FATIGUE SEVERITY, KINESIOPHOBIA, AND WALKING PERFORMANCE IN INDIVIDUALS WITH MULTIPLE SCLEROSIS	619-620
Kübra Can Kurt	THE THERAPEUTIC POTENTIAL OF BACTERIOPHAGES IN THE COMBAT OF ANTIBIOTIC RESISTANCE: CURRENT STATUS AND CLINICAL APPLICATIONS	621-623
Bülent HALAÇLAR Esma GÖKÇE Mohammad SEVİMLİ	IMPACT OF ENHANCED RECOVERY AFTER SURGERY (ERAS) BASED MULTIMODAL PAIN MANAGEMENT ON CLINICAL OUTCOMES IN LAPAROSCOPIC CHOLECYSTECTOMY: AN AMBISPECTIVE COHORT STUDY	624-625
Canan AKDENİZ	THREE-DIMENSIONAL BONE REGENERATION USING THE KHOURY TECHNIQUE AND AUTOLOGOUS DENTIN SHELL WITH SUBSEQUENT IMPLANT PLACEMENT	626-627
Canan AKDENİZ	MAXILLARY SINUS FLOOR ELEVATION USING THE LATERAL WINDOW TECHNIQUE AND IMPLANT REHABILITATION	628-629
Mustafa Nijat Nasrullah Amini Mehdi Rezai Sara Safdari Ali Sina Mohammadi Shah Wali Rezaie Sayed Ali Reza Balkhi Nesar Hussain Mohammadi	FOOD SECURITY AND INTERNATIONAL COOPERATION: BUILDING RESILIENT AGRICULTURAL SYSTEMS IN A CHANGING WORLD	630
Noorjan Mossawi	SOCIAL RESILIENCE TRAINING FOR ACTIVE WOMEN	631
Oussama Mahmoudi	ADVANCES IN ANIMAL HOUSING DESIGN AND THEIR PHYSIOLOGICAL IMPACT ON LIVESTOCK HEALTH AND PRODUCTIVITY	632
Maryem Arraji Khaoula EL BARBI Fatima Zahra BOUCHACHI 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	633-634
Faiha Alkaisara Ulima Halimatussakdiah	THE "JUST LEAVE ME ALONE" PHENOMENON AND SOCIAL FATIGUE AMONG ADOLESCENTS IN THE DIGITAL ERA: A DESCRIPTIVE SURVEY OF STUDENTS AT MTSN 1 BANDA ACEH	635-643

Hamid Nadi Hicham Ouhakki Sihame Hafidi Nabila Auajjar Naima Dohou Khalid Yamni Moulay Laarbi Ouahidi	INTEGRATED EVALUATION OF GROUNDWATER QUALITY AND SUITABILITY FOR DRINKING AND IRRIGATION IN SOUTHEASTERN MOROCCO: THE FEIJA REGION	644-645
BELLIL Dassine GHAROUT-SAIT Alima DJOUDI Ferhat BELLIL Zahra MENDIL Ouidad MANSEUR Lyticia DIB-SAIT Sabrina	OVERVIEW AND EPIDEMIOLOGY OF NON-TUBERCULOUS MYCOBACTERIA ISOLATED FROM WILD ANIMALS IN AFRICA	646
EL KAMMAA Ahmed BENKSIM Abdelhafid, ABOU ELHASSAN Taoufik NEJMI Hicham	KNOWLEDGE, ATTITUDES, AND PRACTICES REGARDING CARDIOPULMONARY RESUSCITATION AMONG HEALTHCARE PROFESSIONALS IN MARRAKECH, MOROCCO: A CROSS-SECTIONAL STUDY OF ASSOCIATED FACTORS	647
Kafayah . A. jiddah Barakah . A. Masuud	KNOWLEDGE AND PRACTICE OF PERSONAL HYGIENE TOWARDS CHOLERA PREVENTION AND CONTROL AMONG RESIDENTS OF OSIN COMMUNITY, ILORIN WEST LGA, KWARA STATE	648-649
Janani.S.S Preethi.B Jayaramakani.N Dr.R.Srinivasan	PROBIOTICS AS NATURAL DEFENDERS OF HUMAN HEALTH	650-651
Preethi.B Janani.S.S Ragul.R Elavarasi Jaya raj.K Desiga mani.A David.G Jayaramakani.N Dr.R.Srinivasan	ROLE OF LACTOBACILLUS IN GUT MICROBIOTA	652
T. O. Esan K. E Ajibulu O. L., Adebayo I. Osasona A.D Olanipekun	QUANTUM MECHANICAL STUDIES AND MONTE CARLO SIMULATIONS ON THE CORROSION INHIBITIVE POTENTIALS OF SOME IMIDAZOLE DERIVATIVES	653
Nodar Sulashvili Nato Alavidze Ia Egnatievi Manana Giorgobiani Mzia Tsiklauri Marika Sulashvili Igor Seniuk Ketevani Gabunia Tamar Okropiridze David Aphkhazava	THE MANIFESTATION OF WORLDWIDE PHARMACY PROFESSION IN TRANSITION: A CRITICAL SCIENTIFIC ASSESSMENT OF PROFESSIONAL RECONFIGURATION, PATIENT-CENTERED CARE, MEDICINAL TECHNOLOGY, HUMAN-CAPITAL CAPACITY, HEALTH-SYSTEM COLLABORATION, AND LONG-TERM OCCUPATIONAL PROSPECTS	654-712
Nodar Sulashvili Nato Alavidze Ia Egnatievi Manana Giorgobiani Mzia Tsiklauri Marika Sulashvili Igor Seniuk Ketevani Gabunia Tamar Okropiridze David Aphkhazava	THE SCHOLARLY DISQUISITION ON FUNDAMENTAL DIMENSIONS OF TRANSFORMING CONTEMPORARY MEDICAL EDUCATION: A GLOBAL EVIDENCE-SYNTHESIZED EXAMINATION OF PEDAGOGICAL INNOVATION, INTERPROFESSIONAL LEARNING, TECHNOLOGICAL INTEGRATION, OUTCOME-ORIENTED CURRICULAR ARCHITECTURES AND CLINICAL PROFESSIONAL COMPETENCE DEVELOPMENT	713-802

Nodar Sulashvili Nana Gorgaslidze Diego Rada Fernandez de Jauregui Maka Buleishvili Mariam Darbaidze Nato Alavidze Marika Sulashvili Irina Imerlishvili Marina Giorgobiani Ketevani Gabunia Vira Kravchenko Olga Shapoval Igor Seniuk Nana Mdinaradze Nino Abuladze Giorgi Pkhakadze Magda Davitashvili Zaza Khachiperadze	THE INTEGRATED SCIENTIFIC APPRAISAL OF ANTICANCER VACCINE PHARMACOLOGY AND PHARMACOTHERAPY: EVIDENCE-BASED THERAPEUTIC EFFICACY, TOXICITY PROFILING, PHARMACOVIGILANCE, IMMUNOSAFETY, MOLECULAR PRECISION, THERAPEUTIC BENEFIT–RISK ASSESSMENT, CLINICAL OUTCOME OPTIMIZATION, PATIENT-CENTERED CARE, CLINICAL RESPONSE, SURVIVAL OUTCOMES, TREATMENT MONITORING AND REAL-WORLD EFFECTIVENES	803-890
CHUKWUEMEKA GODSON EME	THE ROLE OF STAFF TRAINING AND MANAGEMENT DEVELOPMENT ON EMPLOYEE ENGAGEMENT AND MOTIVATION IN THE NIGERIAN PUBLIC SECTOR - A CASE OF NATIONAL OPEN UNIVERSITY OF NIGERIA (NOUN)	891-895
CHUKWUEMEKA GODSON EME	THE EFFECTS OF LEADERSHIP STYLES ON ORGANIZATIONAL PERFORMANCE: AN EMPIRICAL EVIDENCE FROM SELECTED MANUFACTURING FIRMS IN NIGERIA	896-916
CHUKWUEMEKA GODSON EME	THE EFFECTS OF STRATEGIC INTELLIGENCE ON COMPETITIVE ADVANTAGE IN THE NIGERIAN FOOD AND BEVERAGE MANAUFACTURING INDUSTRY	917-929
Madhumitha .S karthick. M kalaivanan. S ameerah. Z	FLAVONOIDS AS NATURAL ANTIOXIDANTS AND THERAPEUTIC AGENTS	930
Madhumitha . S Ameerah Z Sarvanan R	ADVANCE IN VACCINE ADJUVANT DEVELOPMENT AND FUTURE PERSPECTIVS	931
Aliyu Abdullahi Aliyu Ibrahim Yaradua Abdullahi Nasir Ibrahim Hamza Kankia Rufai Nasir Musa Musa. Gumel Ibrahim Banki Lawan Ahmad Rufai Bello Mustapha Aliyu Amina Yahaya Sani	*Aspergillus niger:* A PROMISING CANDIDATE IN MILLET STALK FERMENTATION	932
Omer Shujat Bhatti M. Asad Ghufran Atta Ullah Shah Muzaffar Aziz Iqbal	UNVEILING THE POTENTIAL OF EPIDEMIC-RESILIENT ARCHITECTURE THROUGH CULTURAL INTEGRATION & RESPONSIVENESS FOR DEVELOPING COUNTRIES: A VIRTUAL REALITY EXPLORATION IN PAKISTAN WITH FOCUS ON ENDUSER PARTICIPATION IN HEALTHCARE FACILITIES SUSTAINABILITY	933
Vatamanita MARIANA	CONSTRUCTION-RELATED OFFENCES AND THE RIGHT TO A SAFE AND HEALTHY ENVIRONMENT IN THE REPUBLIC OF MOLDOVA	934
DOROTHY AKPOVYE BAGE-JOHN	SOCIAL HEALTH IMPLICATIONS OF SKIN BLEACHING AMONG RESIDENTS OF NASARAWA STATE, NIGERIA	935-958
Djenaoui Abdelatif	DYNAMIC, CONTEXT-AWARE AND REVOCABLE ATTRIBUTE-BASED ENCRYPTION FOR IOT–EDGE COMPUTING	959-960
Bela Inayat Kalsoom Tariq Ayesha Jameel	DEMOGRAPHIC DIFFERENCES IN THE SEROPREVELANCE OF CO-INFECTION OF HCV & HBV IN HIV PATIENTS IN PESHAWAR	961
Maamri Sarra Laoufi Razika, Ait Mimoun Nouara Djeziri Mourad Alileche Khoukha(	PHYTOCHEMICAL PROFILE AND ANTIBACTERIAL POTENTIAL OF MARRUBIUM VULGARE L. FROM DJELFA, ALGERIA	962

Nabila REZKALLAH leila SMAIL saliha BOUMAZA sarah MAAMRI khouloud HÉMILA asma AMALOU ghouti KACIMI nadjiba HAMLAT et souhila AOUICHAT-BOUGUERRA	ANTIOXIDANT, ANTI-INFLAMMATORY, AND METABOLIC POTENTIAL OF *MALUS DOMESTICA* IN AN EXPERIMENTAL MODEL OF METABOLIC SYNDROME	963-964
Emmanuel Omenka Agbenyi Paul Ayaka Agabi Olive Onyinyechi Maduka Olusegun Debola Oshibanjo	PERFORMANCE AND BLOOD INDICES OF FEMALE BROILER CHICKENS UNDER DIFFERENT BEDDING TREATMENTS	965
Henry Chiebuka Ngurukwem David Adzoyi Abizi Jibrin Umar Ashmar Olusegun Debola Oshibanjo	MOLECULAR DOCKING, PHARMACOKINETIC AND TOXICITY PREDICTION OF *ORIGANUM VULGARE* PHYTOCHEMICALS AGAINST *BRUCELLA MELITENSIS* METHIONYL-TRNA SYNTHETASE	966
Naima Nemiri Souhila Benarab Farida Ait Siguer Meriem Touil Saliha Ouali-Hassenaoui	HISTOLOGICAL STUDY OF THE CEREBRAL CORTEX OF *GERBILLUS TARABULI* (THOMAS, 1902)	967
Oumaima Sadik Mohammed Dahhou Majda Ben Ali Layla El Moussaoui Adnane El Hamidi Abdelekbir Bellaouchou	DEVELOPMENT OF A SEWAGE SLUDGE-BASED CO/BIOCHAR CATALYST FOR THE CATALYTIC REDUCTION OF 4-NITROPHENOL	968
C. Ashmitha Chellam C. Vairavan	THE FLOATING CITY: UTOPIA, TECHNOLOGY AND ECOLOGICAL FUTURES IN RICHARD POWERS'S *PLAYGROUND*	969
Mohammed Waheeb	UTILIZING DRONE TECHNOLOGIES TO DISCOVER INVISIBLE ANCIENT ROUTE ALIGNMENTS: THE MECCAN ILAF ROUTE AS A CASE STUDY	970-971
Manal Ghatesse Hicham Charoute Mostafa Kabine Noureddine Bourhim Yassine Zouheir	IN SILICO IDENTIFICATION OF POTENTIAL GES-5 INHIBITORS USING MOLECULAR DOCKING, MOLECULAR DYNAMICS SIMULATIONS, AND ADMET ANALYSIS	972
Bouchra Riyani Abderrahim Azdad Hamane Lemziouka Abderrahim Boutahar	COMPREHENSIVE FIRST-PRINCIPLES ANALYSIS OF ELECTRONIC, MECHANICAL, THERMODYNAMIC, AND OPTICAL CHARACTERISTICS OF LIMGXH_6 (X = AL, TL) HYDRIDE COMPOUNDS	973
Sikirulai Abolaji, AKANDE Marufat, HUSSAINI Maimuna Ishaq, ABDULLAHI Muhammad Awwal, ISHAQ Zainab Ishaq, ABDULAZEEZ, Abdullahi Opeyem, ABDULRAHEEM	MODELLING THE EFFECT OF STUDENT HEALTH AND WELL-BEING ON ENGAGEMENT AND ACADEMIC PERSISTENCE IN DISTANCE LEARNING: A DATA-DRIVEN FRAMEWORK FOR HIGHER EDUCATION	974-982
Layla El Moussaoui Majda Ben Ali Oumaima Sadik Prof. Dr. Abdellah Benzaouak Prof. Dr. Mouatamid El hazzat Yassine Elkahoui Prof. Dr. Adnane El Hamidi	CATALYTIC REDUCTION OF 4-NITROPHENOL OVER SEWAGE SLUDGE-DERIVED NIO/BIOCHAR COMPOSITE	983
Hooman Rahmati-Holasoo Jalal Mowlana Mahan Mahdavi Saeidi Abdolrahman Baghban Paria Saeedi Ilkchi	INVESTIGATION OF INTERNAL PARASITIC INFESTATIONS IN ORNAMENTAL DISCUS FISH (*SYMPHYSODON* SPP.)	984
Hooman Rahmati-Holasoo Milad Alazmani Node, Majid Masoudifard Mohammadreza Heydari	EVALUATION OF THE ABDOMINAL REGION OF THE PLECO FISH (*PTERYGOPLICHTHYS JOSELIMAIANUS*) USING DIAGNOSTIC IMAGING METHODS FOR GENDER DETERMINATION	985

K. Shoba C. Vairavan	MACHINES OF THE METROPOLE: TECHNOLOGICAL VIOLENCE AND ITS COUNTER-TECHNOLOGIES IN BUCHI EMECHETA'S *DESTINATION BIAFRA*	986
CHERRAT Ayoub ERRADI El Mostafa BENHARAF El Mostafa ENNAWAOUI Amine MASTOURI Hicham ENNAWAOUI Chouaib LABJAR Najoua EL HAJJAJI Souad	ONE WASTE, TWO PRODUCTS: ROOM-TEMPERATURE CONVERSION OF MOROCCAN PHOSPHOGYPSUM INTO AMMONIUM SULFATE AND CALCIUM CARBONATE	987-988
Junaid Uthman Abayomi Alonge-Niyi Oreoluwa Ige Emmanuel Jesutofunmi	A COMPARATIVE READING OF SATIRICAL EXPLORATION IN CHINELO OKPARANTA'S *HARRY SYLVESTER BIRD* AND GEORGE ORWELL'S *ANIMAL FARM*	989-990
Junaid Uthman Abayomi Kouyate Ibrahim Junior Safiya Samaila Kogo Oyebola Oreoluwa Elizabeth	ASSESSMENT OF KNOWLEDGE, ATTITUDE AND PRACTICE ON REPRODUCTIVE HEALTH, MENSTRUAL HYGIENE AND BODY SAFETY AMONG NIGERIAN ADOLESCENT STUDENTS	991
Junaid Uthman Abayomi Kouyate Ibrahim Junior Safiya Samaila Kogo Itua Uyiosenobua Busayo Alonge-Niyi Oreoluwa	EFFECT OF CO-DIGESTION OF COW DUNG WITH CASSAVA WASTEWATER ON BIOGAS PRODUCTION	992-993
Junaid Uthman Abayomi Kouyate Ibrahim Junior Safiya Samaila Kogo Itua Uyiosenobua Busayo	CLINICAL EVALUATION OF NEONATAL MORBIDITY, MORTALITY, AND MATERNAL HEALTH OUTCOMES FOLLOWING KANGAROO MOTHER CARE IMPLEMENTATION	994
Btissam Serraou Fadoua Louglali Hafida Zahir Mostafa EL Louali Hassan Latrache	SUTURING WITH CONFIDENCE: DO ANTIMICROBIAL SUTURES TRULY PREVENT SURGICAL SITE INFECTION?	995
Gayathri P C.Vairavan	BIOLOGICAL CAPITAL AND THE COMMODIFICATION OF LIFE IN PAOLO BACIGALUPI'S *THE WINDUP GIRL*	996-1003
Salma MAKDOUF Karima El Bouqdaoui Abdelhakim El Makssoudi Mounia Cherki	COMPARATIVE STUDY OF THE PHYTOCHEMICAL COMPOSITION OF *FUMARIA PARVIFLORA* FROM THREE REGIONS OF MOROCCO	1004
Fahrah Khurram Nazia Iftakhar Omer Shujat Bhatti	HARMONIZING SUSTAINABLE PRACTICES: CLIMATE-RESPONSIVE DESIGN IN UNIVERSITY LIBRARIES	1005
Ayodele Elizabeth AGOI Moses Adeolu AGOI Oluwanifemi Opeyemi AGOI Yewande Adeyosola ODUNAYO	BLOCKCHAIN ENABLED ACCOUNTING SYSTEMS FOR IMPROVING FINANCIAL TRANSPARENCY, AUDITABILITY, CORPORATE GOVERNANCE, FRAUD PREVENTION, AND STAKEHOLDER CONFIDENCE ACROSS ORGANISATIONS	1006-1019
Zineb SEKKOUT Omaima BOUDAIA Driss RADALLAH Najat EL AMRANI EL HAMSAS EL YOUBI Amal	ALKALOID-MEDIATED MODULATION OF MACROPHAGE INFLAMMATORY RESPONSES: AN EX VIVO APPROACH	1020-1021
Mrs. Bornare Ashwini C. Mr. Rohan Kherud Mr. Vikas shinde Dr. Amol Gayke	POLYHERBAL ORAL DISSOLVING FILMS : FORMULATION STRATEGIES & THERAPEUTIC POTENTIAL OF BOUGAINVILLEA & CILTORIA TERNATEA EXTRACT	1022-1044
Bruno, Ibeabuchi Anwuri. Edith Urakpo Nwaeze. Owurre Isioma Mercy	BIODIVERSITY CONSERVATION AWARENESS AND SUSTAINABLE UTILIZATION OF NATURAL RESOURCES AMONG RURAL COMMUNITIES IN OGBA/EGBEMA/NDONI LOCAL GOVERNMENT AREA, RIVERS STATE, NIGERIA	1045
Badia El Aarage Prof. Nabil Ghabbour	COMPREHENSIVELY ETHNOBOTANICAL EXPANDING INSIGHTS INTO TRADITIONAL HEALTH PRACTICES IN TAZA PROVINCE, MOROCCO	1046
Onukwube Nnamani	EFFECTS OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE-SUPPORTED INQUIRY LEARNING ON SECONDARY SCHOOL STUDENTS' ACHIEVEMENT AND RETENTION IN ELECTRICITY IN MAIDUGURI METROPOLITAN, BORNO STATE, NIGERIA	1047

Le Tien De	ENHANCING LEARNING INTEREST AND VOLLEYBALL SKILLS AMONG MEDICAL STUDENTS THROUGH AN INTEGRATED PHYSICAL CONDITIONING AND EXTRACURRICULAR VOLLEYBALL PROGRAM	1048-1055
Roxana Mihaela Moisoiu	CONTEMPORARY SOCIETY AND CRIME	1056
Bessma Hamama Samia Moustaghfir	FACTORS INFLUENCING INCIDENTAL VOCABULARY LEARNING AND RETENTION AMONG EFL LEARNERS: A SYSTEMATIC REVIEW	1057
Imoh Ime Ekanem Aniekan Essienubong Ikpe Michael Okon Bassey	COMPARATIVE STUDY OF 3D-PRINTED AND TRADITIONALLY MANUFACTURED MECHANICAL PARTS: A REVIEW-BASED COMPARATIVE ENGINEERING ANALYSIS	1058
Abdullahi, Zainab Suleiman Jibrin Suleiman Yaro Ezekiel Ayiwulu Jibrin Abdullahi Suleiman Leo. Abejide	GEOSPATIAL ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL NOISE POLLUTION PATTERNS IN GANDU SARKI AND GIMARE COMMUNITY LAFIA, NASARAWA STATE NIGERIA.	1059
Hafiz Muhammad Ahmed Nadeem Syeda Mahwish Zara Omer Shujat Bhatti Shayan Zulfiqar	BEYOND VISUALIZATION: INTEGRATING GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR CLIMATE-RESPONSIVE ARCHITECTURAL EDUCATION: A PEDAGOGICAL FRAMEWORK FROM PAKISTAN	1060-1061
Assia AZOUAGHE Mohamed EL MAHAMDI Walid DAOUDI Abdelmalik EL AATIAOUI	ENHANCING ELECTROCHEMICAL ACTION OF SURFACE FUNCTIONNALIZED CARBON NANODOTS TOWARDS RUSTPROOFING MILDSTEELS UNDER ACIDIC CONDITIONS : EXPERIMENTAL APPROACH	1062
Muhammad ISMAIL	HYDROTHERMAL SYNTHESIS OF BARIUM IRON SULFIDE-REDUCED GRAPHENE OXIDE NANOCOMPOSITE FOR HIGH PERFORMANCE SUPERCAPACITOR	1063
Babita Gupta	NANOMATERIAL-BASED TRANSDERMAL DRUG DELIVERY FOR SKIN-RELATED DISORDER	1064
Haliza Moy Sonny V. Sutedjo	BUSINESS FEASIBILITY STUDY OF DAPUR NUSANTARA RESTO	1065-1073
Dr Irfan Bashir Prof Dr Rizwan Akram Rana Dr Afshan Naseem Dr Fariha Gul Prof Dr Yasira Waqar Dr Aisha Sami Dr Almas Shoaib Dr Aqila Rafique DR Farhat Munir Dr Sajid Masood Dr Faisal Anees	CREATING BALANACE BETWEEN ACADEMIC AND ADMINISTRATIVE TIME BY SCHOOL LEADERSHIP	1074
Ilochi Nwabunwanne Ogadinma Anyanwu Frances Chidiebere	AWARENESS AND DISPOSITION TOWARDS MENTAL HEALTH CHALLENGES AMONG UNDERGRADUATES IN A TERTIARY INSTITUTION IN NIGERIA	1075
El Mahdi Bouabdalli Mohamed El Jouad Samira Touhtouh Ilyass El kadmiri Nathalie Gaumer Mostapha Siniti Abdelowahed Hajjaji	*STRUCTURE–PROPERTY RELATIONSHIPS IN EU^{3+}-DOPED STRONTIUM PHOSPHATE GLASSES: IMPLICATIONS FOR PHOTONIC AND PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS*	1076-1077
El Mahdi Bouabdalli Mohamed El Jouad Samira Touhtouh Fouad Belhora Nathalie Gaumer El Kebir Hlil Abdelowahed Hajjaji	MULTIPHYSICS–JUDD–OFELT CORRELATIONS FOR ENHANCED RED LUMINESCENCE IN EU^{3+}-DOPED SILICOPHOSPHATE SOL–GEL GLASSES	1078-1079
Fatima El hilah Nadia Belahbib Jamila Dahmani Lahcen Zidane	MEDICINAL PLANT–DRUG INTERACTIONS IN CHRONIC DISEASE MANAGEMENT : PHARMACOLOGICAL EVIDENCE AND PUBLIC HEALTH IMPLICATIONS IN MOROCCO	1080-1081
Shahid Mahmood Israr Ali Khan	RESIDENCE-TIME HETEROGENEITY AND EPIDEMIC MEMORY IN VARICELLA-ZOSTER VIRUS DYNAMICS: A CAPUTO FRACTIONAL SVEILATRM FRAMEWORK WITH STABILITY ANALYSIS AND OPTIMAL CONTROL	1082

Tasawar Iqbal Sidra Altaf	VITAMIN K2 AND HEART HEALTH: EXPLORING ITS POTENTIAL ROLE IN PREVENTING HEART ATTACK AND ARTERIAL BLOCKAGE	1083
Bledar KRAJA	DIETARY FIBER IN GASTROINTESTINAL DISORDERS: A SYSTEMATIC REVIEW OF PHYSIOLOGICAL MECHANISMS, CLINICAL APPLICATIONS, AND EMERGING EVIDENCE	1084
Duong To Quoc THAI	CAPITAL FLOW FROM BANQUE DE L'INDOCHINE TO FRENCH PLANTATION COMPANIES (1875-1945)	1085-1090
Abhay Goel Anisha Tigga Ashwajit Gaikwad Dorshita Phukan Kashvi Bareja Md. Shahanur Hosen Pushkar Sharma Shreya Sikdar Vanshika Jindal	FISCAL FEDERALISM AND SCHOOL EDUCATION: A COMPARATIVE STUDY OF EDUCATIONAL INFRASTRUCTURE AND SPENDING CAPACITIES IN NORTHERN AND SOUTHERN INDIA	1091
Fatima Ezzahra KHAYATTE	ANTIDIABETIC EFFECTS OF PROBIOTICS IN TYPE 2 DIABETES MELLITUS: FROM MECHANISTIC INSIGHTS TO CLINICAL EVIDENCE	1092
Rui Isidoro Vera Krischer João Ralha	BETWEEN LAW AND HIERARCHY: THE PRINCIPLE OF LEGALITY, HIERARCHICAL AUTHORITY AND THE LIMITS OF INTERNAL ADMINISTRATIVE GUIDELINES – A STUDY OF IMMIGRATION PROCEDURES IN PORTUGAL	1093-1094
Ishanityasri BALASUBRAMANIAM Assoc Prof Dr. Yang Chia-Yan EVYAN	SOIL-DERIVED MICROORGANISMS FOR GREEN SYNTHESIS OF SILVER NANOPARTICLES	1095
Ez-zalmaty Youness Bellali Fatima Saadani Maainia Kharroubi Meriem	FROM SEAFOOD BY-PRODUCTS TO HEALTH-ORIENTED BIORESOURCES: LINKING CIRCULAR ECONOMY, SUSTAINABILITY AND HEALTH IN SOUSS-MASSA, MOROCCO	1096-1097
ELHACHMI ER-RACHDAOUI Laila BERROUG Mounir El CHARKAOUI Zakaria NADIR Oumaima ESSADI Fatiha CHIGR	EARLY-LIFE STRESS ALTERS NEURODEVELOPMENT, ANXIETY-LIKE BEHAVIOR, AND ETHANOL CONSUMPTION IN ADOLESCENT MICE	1098
Gayathri P Dr.C.Vairavan	EPIDEMICS, BIOTECHNOLOGY, AND HUMAN VULNERABILITY IN PAOLO BACIGALUPI'S *THE WINDUP GIRL*	1099-1113
Fatima ABDURRAHMAN[1] Prof. Ismaila Alhaji UMAR Dr. Ibrahim HAMZA Kankia Dr. Aliyu IBRAHİM Yaradua	EVALUATION OF MATERNAL NUTRITIONAL STATUS AND TREATMENT OUTCOMES AMONG NEONATES WITH JAUNDICE AT FEDERAL TEACHING HOSPITAL, KATSINA, NIGERIA	1114
Dwi Tika Wulan SARI Fika DEALOVA Cahya AMELIA Ismi Nurhanıfah Nindi Aulıa	FROM LOCAL POTENTIAL TO SHARED VALUE: GOVERNMENT–INDUSTRY COLLABORATION FOR PEMALANG HALAL CREATIVE DESTINATION	1115

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

4. SINIF SOSYAL BİLGİLER DERS KİTABINDA ENGELLİLİK TEMSİLLERİ

Doç. Dr. Ahmed Emin OSMANOĞLU
Bingöl Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Sosyoloji Bölümü, 12000, Bingöl
ORCID ID: 0000-0002-9212-1437

ÖZET
Bu araştırmada, 4. sınıf Sosyal Bilgiler ders kitabında engelliliğin metinsel ve görsel olarak temsil edilişi incelenmiştir. Nitel araştırma prosedürlerinin uygulandığı çalışmanın veri kaynağını Millî Eğitim Bakanlığı tarafından yayımlanan 2025 yılı 4. sınıf Sosyal Bilgiler ders kitabı oluşturmaktadır. Veriler doküman incelemesi yoluyla toplanmış ve betimsel analizle çözümlenmiştir. Analiz birimi temsil vakasıdır. Engellilik veya özel gereksinimle ilişkili 10 vaka belirlenmiştir. Bu vakalar kapsamında 11 metinsel ve 10 görsel unsur bulunmaktadır. Bulgular, engelliliğin ders kitabının farklı bölümlerinde çeşitli metinsel ve görsel içeriklerle ele alındığını göstermektedir. Özellikle görsellerde, tekerlekli sandalye kullanımı ile fiziksel engellilik öne çıkmaktadır. Otizm, konuşma ve işitme güçlüğü gibi engellilik türleri daha çok metinlerde yer almaktadır. Engelli bireyler öğrenci, arkadaş, sanatçı, sporcu, çalışan ve hak sahibi bireyler olarak farklı toplumsal rollerde sunulmaktadır. Engellilik ile ilgili toplumsal katılım, farklılık ve kapsayıcılık, başarı ve bireysel kapasite, empati ve duyarlılık, hak ve erişilebilirlik ile koruma ve destek olmak üzere altı tema bulunmaktadır. Toplumsal katılım en sık karşılaşılan temadır. Hak ve erişilebilirlik ise en az kodlanan tema olmuştur. Engellilik daha çok başarı anlatılarıyla sunulmuştur. Engelli bireylere yönelik empati etkinliklerine, engellilik simülasyonlarına yer verilmiştir. Engelliliğin farklı toplumsal roller ve temalar üzerinden ele alındığı, engellilik ile ilgili görsel görünürlüğün ve hak temelli içeriklerin kapsamının artırılması gerektiği, engellilik temsillerinin diğer engellilik türlerini kapsayacak şekilde çeşitlendirilmesine ihtiyaç olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.
Anahtar Kelimeler: Sosyal Bilgiler, ders kitabı, engellilik temsilleri

DISABILITY REPRESENTATIONS IN A FOURTH-GRADE SOCIAL STUDIES TEXTBOOK

ABSTRACT
This study examined the textual and visual representations of disability in a fourth-grade Social Studies textbook. The data source of the study, which employed qualitative research procedures, was the 2025 fourth-grade Social Studies textbook published by the Ministry of National Education. Data were collected through document analysis and analyzed using descriptive analysis. The unit of analysis was the representation case. Ten cases related to disability or special needs were identified. These cases included 11 textual and 10 visual elements. The findings show that disability is addressed through various textual and visual contents in different sections of the textbook. In the visuals, wheelchair use and physical disabilities are particularly prominent. Disability types such as autism, speech difficulties, and hearing impairments are mostly represented in the texts. Individuals with disabilities are presented in different social roles, including students, friends, artists, athletes, employees, and rights holders. Six themes related to disability were identified: social participation, diversity and inclusion, achievement and individual capacity, empathy and sensitivity, rights and accessibility, and protection and support. Social participation was the most frequently encountered theme, while rights and accessibility was the least frequently coded theme.

Disability was mostly presented through narratives of achievement. Empathy activities and disability simulations were also included. It was concluded that disability is addressed through different social roles and themes, that the scope of visual visibility and rights-based content related to disability should be expanded, and that disability representations need to be diversified to include other types of disabilities.
Keywords: Social Studies, textbook, disability representations

1. GİRİŞ

Engelliliğin farklı tanımları vardır. Tıbbî modele göre, vücut işlevlerinde veya yapılarında meydana gelen yetersizliklerden kaynaklanır. Sosyal modele göre, yetersizliği olan bireylere toplum tarafından dayatılan toplumsal bir kurgu veya kısıtlamadır. Engelliliğin kaynağı bireyin bedeni değil, erişilebilir olmayan toplumsal örgütlenme ve tutumlardır. Her hâlükârda çok boyutlu bir olgudur. Bu olgunun temsil ediliş tarzı, toplumun engelli bireylere yönelik beklentilerini ve engellilerin toplumla ilişkilerini etkileyebilmektedir (Haegele ve Hodge, 2016). Bu durum, eğitim materyallerinde engelli bireylerin nasıl ve hangi toplumsal rollerde temsil edildiğini incelemek açısından kavramsal bir temel sunmaktadır.

Ders kitapları, öğretim programlarında yer alan bilgi ve değerlerin öğrencilere aktarılmasında kullanılan temel eğitim materyallerindendir. Bu materyallerde engelli bireylerin metinler ve görseller aracılığıyla nasıl temsil edildiği önem taşımaktadır. Engelli bireylerin yalnızca yardım ve bakım ihtiyaçlarıyla değil, toplumsal rolleri, yetenekleri ve haklarıyla da ele alınması, ders kitaplarındaki engellilik içeriklerinin değerlendirilmesinde dikkate alınması gereken bir konudur. Gulya ve Fehérvári (2023), ders kitaplarında engelli bireylerin gündelik yaşam içinde ve toplumla bütünleşmiş biçimde temsil edilmesinin önemini vurgularlar. Deckman vd. (2020), engelli bireylerin başarı ve uyum üzerinden sunulmasını doğru bulmazlar. Ders kitaplarındaki metin ve anlatılar, okuyucunun engeli olmayan bir birey olduğunu varsayarak kurgulanmaktadır. Engelli bireyler ise bu normal kabul edilen kitlenin dışında, farklı veya özel ihtiyaçlı ötekilerdir. Bu yaklaşım, engelli bireyi egemen normlara ve ana akım ortama uyum sağlamaya teşvik eder. Engellilerin özellikle başarı ve başarılı figürler üzerinden sunumları, uyum sağlama sorumluluğunu tamamen engelli bireylerin omuzlarına yüklemektedir. Engelliliğin bireysel bir kahramanlık ve engelleri aşma öyküsü olarak sunumu, engelli bireyleri çoğunluğun empati duyması, ilham alması veya kendi haline şükretmesi için birer araç haline getirmektedir.

Türkiye ders kitaplarındaki engellilik temsillerini inceleyen araştırmalar, temsillerin kapsamı ve niteliği bakımından çeşitli sınırlılıklar olduğunu göstermektedir. Yapılan araştırmaların dönem, program, kitap ve diğer sınırlılıkları göz önüne alınmak kaydıyla, ilköğretim Türkçe ders kitapları metin ve görsellerinde engellilikle ilişkili temsillere oldukça az yer verilmektedir (Tuncer vd., 2011). Hayat Bilgisi (1-3. sınıflar), Sosyal Bilgiler (4-7. sınıflar) ve Fen ve Teknoloji (4-8. sınıflar) ders kitapları (Can vd., 2017) ile ilkokul ve ortaokul kademesindeki Türkçe (1-8. sınıflar) ders kitaplarında (Karal ve Ünlüol-Ünal, 2022) engellilikle ilişkili içerikler oldukça düşük düzeydedir. Özellikle bedensel/fiziksel engellilik ile tekerlekli sandalye kullanımı öne çıkmaktadır. Türkçe ders kitaplarında otizm, öğrenme güçlüğü, zihinsel yetersizlik veya işitme yetersizliği gibi türlerin hiçbirine rastlanmamaktadır (Karal ve Ünlüol-Ünal, 2022). Zihinsel engelliliğe %8 oranında ve çoğunlukla Fen ve Teknoloji ders kitaplarında yer verilmektedir. Otizm veya öğrenme güçlüğü gibi türler de kitaplarda bulunmamaktadır. İlköğretim ders kitaplarında engelli bireyler çoğunlukla çocuklardan oluşmaktadır (%80). Engelliler aktif faaliyetlerde bulunmakta (%84) ve akranlarıyla birlikte gösterilmektedirler (%71) (Can vd., 2017). Ortaokul düzeyindeki 24 ders kitabında, engelli bireyler ağırlıklı olarak yetişkinlerden oluşmakta (%66,6), çoğunlukla pasif faaliyetlerde sunulmakta (%65,4) ve

yarısından fazlası (%51,5) yalnız resmedilmektedir (Bayar ve Kurt, 2021). Engelli bireylerin okul ortamındaki temsilleri sınırlıdır. Temsillerin %74'ünün (Can vd., 2017), bir başka çalışmada ise tamamının okul dışı mekânlarda yer aldığı belirtilmiştir (Bayar ve Kurt, 2021). Sosyal Bilgiler öğretim programındaki 131 kazanımın yalnızca ikisinde engelliliğe yer verilmektedir. Engellilik, sınırlı sayıda kavram (26) ve görselle (8) temsil edilmektedir. Mevcut içeriklerde engellilik hak temelli bir yaklaşımdan ziyade acınacak ve yardıma muhtaç bir durumdur. İnsan hakları perspektifi yetersizdir (Mengi, 2019). Bu literatürden hareketle, Sosyal Bilgiler ders kitaplarının, birey ve toplum, farklılıklara saygı, toplumsal katılım ve haklar gibi konuları içerdiği göz önüne alındığında engellilik temsillerinin incelenmesi için uygun materyaller olduğu anlaşılmaktadır.

Yukarıda belirtildiği gibi, yapılan araştırmaların incelenen dönem, program, kitap ve diğer sınırlılıkları göz önüne alınmak şartıyla, uluslararası araştırmalarda da engelliliğin görünürlüğü, temsil edilen engellilik türleri ve engellilerin toplumsal rolleri bakımından çeşitli sınırlılıklar belirlenmiştir. İngiltere ilkokul ders kitaplarında engelliliğe sınırlı biçimde yer verilmekte ve fiziksel engelliliğe dayalı temsiller öne çıkmaktadır. İncelenen 96 ders kitabındaki 4.561 görselden yalnızca 13'ünde (%0,28) engelli birey temsili vardır. Bu temsillerin %38'ini tekerlekli sandalye kullananlar, %15'ini görme engelliler ve %15'ini koltuk değneği kullananlar oluşturmaktadır (Hodkinson, 2007). Norveç'e ait 78 ders kitabının %49'unun metinlerinde, %29'unun ise görsellerinde engelli bireylere yer verilmektedir (Jensen vd., 2023). Suudi Arabistan İngilizce ders kitaplarında engellilik içeren sayfa oranı %0,45'tir (Aleidan ve Alharbi, 2025). Temsillerde bedensel engellilik öne çıkmakta, zihinsel ve duyusal engellilikler ile öğrenme güçlükleri, hak temelli içerikler ihmal edilmektedir. Macaristan İngilizce ders kitaplarında engelli temsillerinin toplumsal bağlamlarında gündelik yaşamdan çok seçkin başarılar ve sportif faaliyetler bulunmaktadır. Metinlerdeki engelli karakterlerin %75'i, görsellerdekilerin ise %71'i paralimpik sporcular gibi uluslararası düzeyde tanınan başarılı kişilerdir. Aile veya akran çevresi içinde gündelik yaşamı yansıtan temsillere neredeyse hiç yer verilmemektedir (Gulya ve Fehérvári, 2023). Güney Kore Sosyal Bilgiler ders kitaplarında engellilik temsili kendi içinde çelişkiler barındıran karma bir yapıdadır. Engellilik bireysel bir talihsizlik veya kişisel mücadeleyle aşılması gereken bir eksiklik gibi sunulmaktadır. Engelli bireyler paralimpik dereceler veya olağanüstü performanslar üzerinden görünür kılınmaktadır. Olağanüstü başarı anlatıları öne çıkmaktadır. Çalışma, güncellenen müfredat anlayışıyla birlikte engelliliği toplumsal çeşitliliğin, çoğulculuğun ve birlikte yaşam kültürünün doğal bir parçası olarak gören kapsayıcı söylemlerin de ders kitaplarında yer bulmaya başladığını göstermektedir (Cho, 2021). Bu araştırmalar, ders kitaplarının engellilik durumları, engelli bireylerin ilişkilendirildiği faaliyetler ve öne çıkarıldıkları toplumsal roller bakımından incelenmesi gerektiğini göstermektedir.

Bu araştırmanın amacı, Millî Eğitim Bakanlığı tarafından yayımlanan 2025 yılı 4. sınıf Sosyal Bilgiler ders kitabında engelliliğin metinsel ve görsel olarak nasıl temsil edildiğini incelemektir. Bu doğrultuda engellilikle ilişkili içerikler, aynı kişi veya durumla ilişkili metinsel ve görsel unsurların birlikte değerlendirildiği temsil vakaları temelinde ele alınmıştır. Engellilik; görünürlük, engellilik durumları, toplumsal roller ve temalar bakımından incelenmiş ve aşağıdaki sorulara cevap aranmıştır:

1. İncelenen ders kitabında engellilik, metinsel ve görsel olarak nasıl görünür kılınmaktadır?
2. İncelenen ders kitabında hangi engellilik durumları temsil edilmektedir?
3. Engelli bireyler hangi roller, faaliyetler ve sosyal bağlamlar içerisinde temsil edilmektedir?
4. İncelenen ders kitabında engellilik hangi temalar çerçevesinde temsil edilmektedir?

2. YÖNTEM

Bu araştırmada nitel araştırma yaklaşımı benimsenmiştir. Veri kaynağı, 2025 yılı 4. sınıf Sosyal

Bilgiler ders kitabıdır. Bu kitap, amaçlı örnekleme yöntemlerinden ölçüt örnekleme tekniğiyle seçilmiştir. Sosyal Bilgiler dersinin ilkokulda ilk kez 4. sınıfta okutulması, Millî Eğitim Bakanlığı (MEB) tarafından yayımlanan en güncel ders kitabının bu kitap olması ölçütleri esas alınmıştır. Veriler doküman incelemesi yoluyla toplanmış ve betimsel analiz yöntemiyle çözümlenmiştir.

Ders kitabındaki metinsel ve görsel içerikler birlikte incelenmiştir. Ana metinlerin yanı sıra okuma ve haber metinleri, etkinlikler, görsel açıklamaları, öğrenme hedefleri ve ölçme-değerlendirme bölümleri de taranmıştır. Kronik hastalık, geçici yaralanma, yaşlılık veya gözlük kullanımı gibi durumlar, engellilik ya da özel ihtiyaç bağlamında açık veya bağlamsal bir temsil oluşturmadıkları sürece inceleme dışında tutulmuştur. Araştırma soruları doğrultusunda dört boyutlu bir analiz çerçevesi oluşturulmuştur: Metinsel ve görsel görünürlük, temsil edilen engellilik veya özel ihtiyaç durumları, engelli bireylere atfedilen roller, faaliyetler ve sosyal bağlamlar ve engelliliğin temsil edildiği temalar. İlk aşamada engellilik veya özel ihtiyaçla ilişkili metinsel ve görsel içerikler tespit edilmiştir. Aynı kişi veya durumla ilişkili, ortak bir anlam bütünlüğü oluşturan içerikler bir araya getirilmiştir. Böylece temsil vakaları oluşturulmuştur. Bu çalışmada 10 temsil vakasına ulaşılmıştır. Söz konusu vakalar, 11 metinsel ve 10 görsel unsur içermektedir. Temsil vakaları ve bunları oluşturan unsurlar Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Temsil vakaları ve unsurları

Vaka	Sayfa	Temsil / içerik	Unsur
V1	11	Birlikte yaşam bağlamında tekerlekli sandalyeli erkek çocuk	M1 + G1
V2	20	Fiziksel farklılık bağlamında tekerlekli sandalyeli kız çocuk ve akran grubu	M2 + G2
V3	25	Otizmli Elif Ece	M3 + G3
V4	26	Kolları olmayan Sümeyye Boyacı	M4 + G4
V5	27	Özel gereksinimli arkadaşlar	M5 + G5
V6	29	Yürüme güçlüğü ve okula erişim	M6 + G6
V7	29	Engellilik simülasyonu	M7
V8	30	Down sendromlu çalışanlar	M8 + G7
V9	31 ve 33	Paralimpik sporlar	M9 + G8 + G9 + M10
V10	147	Özel gereksinimli çocukların hakları	M11 + G10

Not. M = metin; G = görsel.

Araştırmanın temel analiz birimi temsil vakasıdır. Aynı vakaya ait metinsel ve görsel unsurlar bir bütün olarak değerlendirilmiştir. Metinsel görünürlük, engelliliğin doğrudan adlandırıldığı içeriklerde açık, doğrudan adlandırılmadan ilişkili bir bağlamda sunulduğu içeriklerde ise örtük olarak kodlanmıştır. Görsel görünürlük için üç kategori kullanılmıştır. Engelliliğin görsel göstergeler aracılığıyla belirlenebildiği durumlar açık, görselin engellilikle ilişkisinin metin aracılığıyla kurulduğu durumlar bağlamsal, engelliliğe ilişkin görsel temsilin bulunmadığı durumlar ise yok olarak kodlanmıştır. Örneğin otizmli Elif Ece'nin anlatısına eşlik eden piyano görseli, engelliliği doğrudan göstermediği hâlde metinle ilişkisi nedeniyle bağlamsal görsel olarak değerlendirilmiştir. Engelliliğin öğretim etkinliği veya ölçme-değerlendirme sorusu aracılığıyla ele alındığı içerikler de incelemeye dâhil edilmiştir. Öğrencilerden gözlerini kapatarak resim çizmelerinin ve kulaklarını kapatarak televizyon izlemelerinin istendiği etkinlik ile Paralimpik kavramına ilişkin ölçme-değerlendirme sorusu bu tür içeriklere örnektir. Temsil vakaları, analiz çerçevesinin dört boyutu doğrultusunda çözümlenmiştir. Bir vaka birden fazla temayla ilişkilendirilebildiğinden çoklu kodlama yapılmıştır. Bu nedenle tema frekansları, ilgili temanın kaç temsil vakasında bulunduğunu göstermektedir. Temaların birbirlerine göre oransal dağılımını ifade etmemektedir. Bulgular temsil vakaları temelinde sunulmuş, metinsel ve görsel unsurlar arasındaki ilişkiler betimsel olarak açıklanmıştır.

2.1. Geçerlik ve Güvenirlik

Araştırmanın geçerlik ve güvenirliği inandırıcılık, aktarılabilirlik, tutarlılık ve teyit edilebilirlik ölçütleri çerçevesinde ele alınmıştır. İnandırıcılığı sağlamak için metinsel ve görsel unsurlara ait bulgular ders kitabından alınan somut örneklerle desteklenmiştir. Aktarılabilirlik açısından veri kaynağı, analiz birimi, inceleme kapsamı ve kodlama ölçütleri ayrıntılı biçimde açıklanmıştır. Tutarlılığı sağlamak amacıyla araştırma soruları doğrultusunda bulgular, tartışma ve sonuç bölümleri birlikte hizalanarak çalışmanın bütünlüğü gözetilmiştir. Teyit edilebilirliği desteklemek için temsil vakaları, ilgili sayfa numaraları ve metinsel ve görsel unsur kodlarıyla birlikte sunularak bulguların veri kaynağı üzerinden izlenebilmesi mümkün hale getirilmiştir. Kodlama işlemi aynı araştırmacı tarafından üç gün arayla tekrarlanmış ve her iki uygulamada aynı sonuçlara ulaşılmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Engelliliğin Görünürlüğü

Ders kitabında engellilikle ilişkili toplam 10 temsil vakası saptanmıştır. Bu vakalar 11 metinsel ve 10 görsel unsur içermektedir. Engelliliğin metinsel ve görsel görünürlüğüne ilişkin bulgular Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. Engelliliğin metinsel ve görsel görünürlüğü

Vaka	Sayfa	Metinsel görünürlük	Görsel görünürlük
V1	11	Örtük	Açık
V2	20	Örtük	Açık
V3	25	Açık	Bağlamsal
V4	26	Açık	Bağlamsal
V5	27	Açık	Açık
V6	29	Açık	Açık
V7	29	Örtük	Yok
V8	30	Açık	Bağlamsal
V9	31, 33	Açık	Açık
V10	147	Açık	Açık

Tablo 2'ye göre engellilik, yedi vakada metinde doğrudan, üç vakada örtük biçimde ele alınmıştır. Görsel görünürlük açısından engellilik altı vakada açık biçimde temsil edilmiş, üç vakada görseller metinsel bağlam aracılığıyla anlam kazanmıştır. Bir vakada görsel temsile yer verilmemiştir.

Engelliliğin metinde örtük, görselde ise açık biçimde temsil edilişine örnek, *Toplumun Bir Parçasıyım* adlı 1. ünitede bulunmaktadır. Metinde insanların fiziksel özelliklerinin birbirinden farklı olduğu belirtilmekte ve bu anlatıma, arkadaşlarıyla birlikte gösterilen tekerlekli sandalyeli bir kız çocuğunun görseli eşlik etmektedir. Metinde engellilik doğrudan adlandırılmamakta, fiziksel farklılıklar kapsamında görsel aracılığıyla temsil edilmektedir (Şekil 1).

Şekil 1. Metinde örtük, görselde açık engellilik temsili

İnsanların göz rengi, boyu ve kilosu gibi fiziksel özelliklerinin birbirinden farklı olduğunu görürüz (Görsel 1.3). Tüm bu özelliklerin yanı sıra her insanın ilgi, yetenek ve ihtiyaçları da farklı olabilir.



Görsel 1.3: Her birey farklı fiziksel özelliklere sahiptir.

Kaynak: Sosyal Bilgiler 4. sınıf ders kitabı (bundan sonra "SBD"), s.20.

Engelliliğin metinde açık biçimde adlandırıldığı, ancak görselde doğrudan gösterilmediği durumlar da bulunmaktadır. "Konuşamayacağı sanılan otizmli dâhi çocuk" başlıklı habere göre Elif Ece Türkoğlu üç yaşında otizm tanısı almıştır. Metinde otizm kavramı doğrudan kullanılırken anlatıya eşlik eden piyano görseli engelliliği doğrudan göstermemektedir. Bu nedenle söz konusu görsel, metinle ilişkisi üzerinden bağlamsal olarak değerlendirilmiştir (Şekil 2).

Şekil 2. Metinde açık, görselde bağlamsal engellilik temsili

HABERİM VAR

KONUŞAMAYACAĞI SANILAN OTİZMLİ DÂHİ ÇOCUK

Eskişehir'de oturan ve 3 yaşındayken otizm tanısı konulan Elif Ece Türkoğlu, konuşma güçlüğü çekerken ailesinin desteğiyle aldığı eğitimlerle henüz okula başlamadan okuma yazmayı öğrendi.

(...) Ortaokulda sınavına girdiği Anadolu Üniversitesi Devlet Konservatuvarını kazandı. Burada aldığı 1,5 yıllık eğitimin ardından Eskişehir Atatürk Güzel Sanatlar Lisesini kazanan Elif Ece, yeteneğiyle dikkati çekti.



Haber metni genel ağdan alınarak kısaltılmıştır.

Kaynak: SBD, s.25

Engelliliğin hem metinde hem de görselde açık biçimde temsil edildiği durumlar da vardır. Yürüme güçlüğüyle ilgili bir etkinlikte "yürüme güçlüğü çeken arkadaşım" ifadesi kullanılmıştır. Bu ifadeye koltuk değneği kullanan bir çocuk görseli eşlik etmiştir. Böylece engellilik aynı içerikte hem metinsel olarak adlandırılmış hem de görsel olarak gösterilmiştir (Şekil 3).

Şekil 3. Metinde ve görselde açık engellilik temsili



Kaynak: SBD, s.29

Engelliliğin metinde örtük olarak ele alındığı ve görsel temsilin bulunmadığı bir etkinlik vardır. Etkinlikte öğrenciler görme ve işitme kısıtlılıklarını yaşayarak tecrübe etmektedirler. Bu etkinlikte öğrencilerden gözlerini kapatarak resim çizmeleri ve kulaklarını kapatarak televizyon izlemeleri istenmiştir. Engellilik doğrudan adlandırılmadığı gibi etkinliğe ilişkin bir görsele de yer verilmemiştir (SBD, s. 29).

3.2. Temsil Edilen Engellilik Durumları

Ders kitabında farklı engellilik ve özel ihtiyaç durumlarına yer verilmiştir. Metinlerde otizm ve konuşma güçlüğü (s. 25), fiziksel engellilik (s. 26), işitme ve yürüme güçlüğü (s. 27, 29) ile Down sendromu (s. 30) ele alınmaktadır. Ayrıca belirli bir engellilik durumunu belirtmeyen "özel gereksinimli birey" (s. 31) ve "özel gereksinimli çocuk" (s. 147) gibi genel ifadeler de kullanılmaktadır.

Engellilik durumlarının metinsel ve görsel görünürlüğü farklılık göstermektedir. Otizm, konuşma ve işitme güçlüğü metinlerde ifade edilirken fiziksel engellilik, özellikle tekerlekli sandalye (s. 11, 20) ve koltuk değneği kullanımı (s. 29) üzerinden görsellerde de temsil edilmektedir. Görme ve işitme engelliliğiyle ilişkili bir diğer içerik, öğrencilerin gözlerini kapatarak resim çizmelerini ve kulaklarını kapatarak televizyon izlemelerini isteyen etkinliktir (s. 29). Ancak bu etkinlikte engelli bir birey temsil edilmediğinden içerik, bir engellilik durumu temsili olarak değil, engellilik deneyiminin simüle edilmesine dayalı öğretimsel bir etkinlik olarak değerlendirilmiştir.

3.3. Engelli Bireylerin Rolleri, Faaliyetleri ve Sosyal Bağlamları

Engelli veya özel ihtiyaçlı bireyler çocuk, öğrenci, arkadaş, sanatçı, sporcu, çalışan ve hak sahibi gibi çeşitli toplumsal rollerde yer almaktadır. Bu temsiller eğitim, arkadaşlık, sanat, spor ve çalışma hayatı gibi sosyal bağlamları kapsamaktadır. Otizmli Elif Ece Türkoğlu'nun okul öncesinde okuma yazma öğrendiği ve müzik alanında ilerlediği anlatılmaktadır (s. 25). Doğuştan kolları olmayan Sümeyye Boyacı'nın resim ve ebru yaptığı, dikiş diktiği ve profesyonel yüzücü olduğu belirtilmektedir (s. 26). Down sendromlu sekiz birey ise aldıkları meslekî eğitimin ardından bir kafede servis elemanı olarak çalışmakta, maaş kazanmakta ve sosyalleşmektedirler (s. 30). Paralimpik sporcular da bireysel ve takım sporlarında Türkiye'yi başarıyla temsil eden kişiler olarak sunulmaktadır (s. 31).

Akran ilişkileri de temsillerde yer bulmaktadır. Özel ihtiyaçlı bireyler bazı görsellerde diğer çocuklarla aynı sosyal ortamda gösterilmekte (s. 11, 20), işitme veya yürüme güçlüğü yaşayan bireylerden metinlerde arkadaş olarak söz edilmektedir (s. 27). Bazı engelli bireyler eğitim, sanat, spor ve çalışma hayatında herhangi bir yardım bağlamı olmaksızın aktif olarak yer almaktadır. Bunun aksine, aile ve eğitim desteği, arkadaş yardımı, kamusal destek ve çevresel düzenleme ihtiyacının öne çıktığı temsiller de bulunmaktadır. Örneğin yürüme güçlüğü yaşayan bir öğrencinin üst kattaki sınıfa erişiminde karşılaşabileceği sorun, arkadaşının duyarlılığı ve okul müdürünün desteğiyle çözüme kavuşturulmuştur (s. 29). Çocuk haklarına ilişkin sözleşmede, özel ihtiyaçlı çocukların bakım ve eğitimini sağlayacak kurumların oluşturulması devletin görevleri arasında belirtilerek hak temelli bir kurumsal sorumluluğa yer verilmiştir (s.

147).

3.4. Engelliliğin Anlamlandırıldığı Temalar

Engellilik temsilleri toplumsal katılım, farklılık ve kapsayıcılık, başarı ve bireysel kapasite, empati ve duyarlılık, hak ve erişilebilirlik ile koruma ve destek olmak üzere altı tema altında toplanmıştır. Temalar, temsil vakalarında engelliliğin hangi anlamlarla ilişkilendirildiği dikkate alınarak belirlenmiştir. Bir temsil vakası birden fazla temayla ilişkilendirilebildiğinden çoklu kodlama yapılmıştır. Temaların frekansları Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Engellilik temsillerinin temalara göre dağılımı

Tema	Temsil vakaları	f
Toplumsal katılım	V1, V2, V3, V4, V5, V6, V8, V9	8
Farklılık ve kapsayıcılık	V1, V2, V5, V8, V9	5
Başarı ve bireysel kapasite	V3, V4, V8, V9	4
Empati ve duyarlılık	V5, V6, V7	3
Hak ve erişilebilirlik	V6, V10	2
Koruma ve destek	V3, V10	2
Toplam		24

Not. Bir temsil vakası birden fazla tema altında değerlendirildiğinden temaların toplam frekansı (f=24), temsil vakası sayısından (n=10) fazladır.

En sık karşılaşılan tema toplumsal katılımdır (f = 8). Bu tema, engelli veya özel gereksinimli bireylerin eğitim, arkadaşlık, çalışma, sanat ve spor gibi toplumsal yaşam alanlarında yer almalarını kapsamaktadır. Tekerlekli sandalye kullanan çocukların akranlarıyla birlikte gösterildiği görseller (V1 ve V2; s. 11, 20) ve özel gereksinimli bireylerin arkadaş olarak tanımlanması (V5; s. 27), sosyal ilişkiler içerisindeki katılımı yansıtmaktadır. Elif Ece Türkoğlu'nun eğitim ve müzik faaliyetleri (V3; s. 25), Sümeyye Boyacı'nın sanat ve spor alanındaki çalışmaları (V4; s. 26), Down sendromlu bireylerin çalışma hayatına katılması (V8; s. 30) ve Paralimpik sporcuların faaliyetleri (V9; s. 31) de bu tema kapsamında yer almaktadır. Yürüme güçlüğü yaşayan öğrencinin ikinci kattaki sınıfa erişimde karşılaşabileceği sorunun fark edilmesi ve önceki yıl kullanılan dersliğe dönülmesine karar verilmesi ise öğrencinin eğitim ortamına katılımının sürdürülmesi bakımından değerlendirilmiştir (V6; s. 29).

Farklılık ve kapsayıcılık (f = 5) temasında engellilik, bireysel farklılıklar ve birlikte yaşama çerçevesinde ele alınmaktadır. Tekerlekli sandalye kullanan çocukların diğer çocuklarla aynı sosyal ortamda gösterilmesi (V1 ve V2; s. 11, 20), akran birlikteliğine dayalı temsillerdir. Özel ihtiyaçlı arkadaşlara ilişkin metinde, insanların birbirinden farklı olmasının olumlu veya olumsuz bir durum olmadığı belirtilmiş, empati ve saygı vurgulanmıştır (V5; s. 27). Down sendromlu bireylerin çalışma hayatına katılımını anlatan içeriğin öncesinde farklılıklara saygı, toplumsal huzurla ilişkilendirilmektedir (V8; s. 30). Paralimpik sporculara ilişkin anlatıda, özel ihtiyaçlı bireylerin toplumun bir parçası olduğu ve farklılıkların yaşamı zenginleştirdiği ifade edilmektedir (V9; s. 31).

Başarı ve bireysel kapasite (f = 4) temasında engelli bireylerin yetenekleri, kazandıkları beceriler, üretkenlikleri ve başarıları öne çıkmaktadır. Otizmli Elif Ece Türkoğlu'nun okula başlamadan okuma yazma öğrenmesi ve müzik eğitiminde ilerlemesi (V3; s. 25) ile Sümeyye Boyacı'nın resim, ebru ve yüzme alanlarındaki başarıları (V4; s. 26) bu kapsamda yer almaktadır. Down sendromlu bireylerin meslekî eğitim almaları, servis elemanı olarak çalışmaları ve el sanatları ürünleri yapmaları da bireysel beceri ve üretkenlikle ilişkilidir (V8; s. 30). Paralimpik sporcuların uluslararası yarışmalarda kazandıkları madalyalar ise sportif başarılarını anlatmaktadır. Aynı metinde özel ihtiyaçlı bireylerin farklılıklarını avantaja çevirdikleri, diğer insanlara ilham verdikleri belirtilmektedir (V9; s. 31).

Empati ve duyarlılık (f = 3) temasında engellilik, başkalarının yaşadığı güçlükleri anlama ve bu güçlüklere duyarlı davranma çerçevesinde ele alınmaktadır. Özel gereksinimli arkadaşlara karşı empati kurulması gerektiği belirtilmiştir. Öğrencilerden kendilerine nasıl davranılmasını istiyorlarsa arkadaşlarına da öyle davranmaları beklenmektedir (V5; s. 27). Yürüme güçlüğü yaşayan arkadaşının üst kattaki sınıfa erişimde karşılaşabileceği sorunu fark eden öğrencinin durumu öğretmenine ve okul yönetimine iletmesi, duyarlılığın davranışa dönüştüğü bir örnektir (V6; s. 29). Bir başka etkinlikte ise öğrencilerden gözlerini kapatarak resim çizmeleri ve kulaklarını kapatarak televizyon izlemeleri istenmektedir. Bu içerikte engelli bir birey doğrudan temsil edilmemekte, öğrencilerin geçici kısıtlamalar yoluyla başkalarının deneyimlerini anlamaları amaçlanmaktadır (V7; s. 29).

Hak ve erişilebilirlik (f = 2) teması, engelli bireylerin eğitim ortamlarına erişimi ve özel ihtiyaçlı çocukların hakları üzerinden ele alınmaktadır. Yürüme güçlüğü yaşayan öğrencinin üst kattaki sınıfa ulaşmakta zorlanabileceği fark edilince, lazım olan tedbirlerin alınması eğitim ortamının erişilebilirliğiyle ilişkilidir (V6; s. 29). Çocuk hakları bölümünde, özel ihtiyaçlı çocukların korunma ve saygı görme hakkına sahip olduğu belirtilmiştir. Engellilerin bakım ve eğitimlerini sağlayacak kurumların oluşturulması devletin bir görevi olarak sunulmaktadır (V10; s. 147). Bu örneklerde engellilik, eğitim ortamlarının düzenlenmesi ve hakların güvence altına alınmasıyla ilişkilendirilmektedir.

Koruma ve destek (f = 2) temasında engelli bireylerin ihtiyaçlarının karşılanmasında aile ve devlet desteği söz konusudur. Otizmli Elif Ece Türkoğlu'nun konuşma güçlüğü yaşarken ailesinin desteğiyle eğitim alması ve okula başlamadan okuma yazma öğrenmesi, aile ve eğitim desteğine örnektir (V3; s. 25). Çocuk hakları bölümünde, özel ihtiyaçlı çocukların korunması, bakım ve eğitimlerini sağlayacak kurumların oluşturulması ve ailelerine devlet tarafından yardım yapılması yer almaktadır (V10; s. 147). Böylece destek, bir örnekte bireyin gelişimine katkı sağlayan aile ve eğitim desteği, diğerinde devletin üstlendiği kurumsal sorumluluk olarak geçmektedir.

4. TARTIŞMA

Bu araştırmada incelenen 4. sınıf Sosyal Bilgiler ders kitabında engellilikle ilişkili 10 temsil vakası belirlenmiştir. Engellilik durumlarının metinsel ve görsel görünürlüğü farklılaşmaktadır. Önceki araştırmalarda ders kitaplarındaki engellilik temsillerinin kapsamı ve niteliğine ilişkin çeşitli sınırlılıklar ortaya konmuştur (Can vd., 2017; Karal ve Ünlüol-Ünal, 2022; Mengi, 2019; Tuncer vd., 2011). Mevcut araştırmada fiziksel engellilik görsellerde öne çıkmaktadır. Otizm, konuşma ve işitme güçlüğü gibi durumlar daha çok metinlerde yer almaktadır. Bu sonuç, ilköğretim ders kitaplarında bedensel engelliliğin diğer engellilik türlerinden daha fazla temsil edildiğini belirleyen Can vd. (2017) ile benzerlik göstermektedir. Karal ve Ünlüol-Ünal (2022) da inceledikleri Türkçe ders kitaplarında fiziksel engelliliğin ağırlıklı olduğunu, otizm ve bazı diğer özel gereksinim durumlarına yer verilmediğini ortaya koymuşlardır. Benzer biçimde Aleidan ve Alharbi (2025), İngilizce ders kitaplarında fiziksel engelliliğin öne çıktığını, bilişsel ve öğrenmeyle ilişkili engellilik durumlarının yeterince temsil edilmediğini belirlemişlerdir.

Araştırma engelli bireylerin toplumsal rolleri bakımından önceki çalışmalarla hem benzerlik hem de farklılık göstermektedir. İncelenen ders kitabında engelli bireyler öğrenci, arkadaş, sanatçı, sporcu ve çalışan gibi çeşitli rollerde ve toplumsal faaliyetlerde yer almaktadır. Can vd. (2017), engelli bireylerin çoğunlukla aktif faaliyetlerde bulunduğunu ve yarıdan fazlasının engelli olmayan akranlarıyla birlikte gösterildiğini belirlemiştir. Buna karşılık Bayar ve Kurt (2021), ortaokul ders kitaplarında engelli bireylerin büyük bölümünün pasif faaliyetlerde temsil edildiğini ve akranlarıyla birlikte yeterince görünür olmadığını saptamışlardır. Bu araştırmada ise engelli bireylerin akran ilişkilerinin yanında sanat, spor ve çalışma yaşamında da yer alması, toplumsal rollerin çeşitliliği bakımından önemlidir. Bununla birlikte incelenen kitapların ve

sınıf düzeylerinin farklı olması, araştırma sonuçlarının doğrudan karşılaştırılmasını sınırlandırmaktadır.

Başarı ve bireysel kapasite, incelenen ders kitabında engelliliğin anlamlandırıldığı bir diğer çerçevedir. Otizmli bir çocuğun eğitim ve müzik alanındaki gelişimi, Sümeyye Boyacı'nın sanatsal ve sportif başarıları ile paralimpik sporcuların elde ettikleri dereceler, engelli bireylerin farklı alanlardaki kapasitelerini görünür kılmaktadır. Gulya ve Fehérvári (2023), Macaristan'da kullanılan İngilizce ders kitaplarında engelli bireylerin çoğunlukla seçkin ve sınırlı çeşitlilikteki faaliyetlerle temsil edildiğini, gündelik yaşam ve toplumsal bütünleşmeye ilişkin içeriklerin ise sınırlı kaldığını belirlemişlerdir. Mevcut araştırmada başarı anlatılarının yanında gündelik yaşam ve toplumsal katılıma ilişkin temsiller de bulunmaktadır. Ancak paralimpik sporcuların başkalarına ilham veren bireyler olarak tanıtılması (s. 31), başarıların nasıl anlamlandırıldığı açısından ayrıca değerlendirilmelidir. Schalk (2016), engelli bireylerin olağanüstü başarıları üzerinden oluşturulan kahramanlaştırılmış engelli anlatı türlerinin, anlatım biçimlerinin ve bağlamlarının dikkate alınarak incelenmesi gerektiğini vurgulamaktadır. Bu açıdan ders kitabındaki başarı örnekleri bireysel kapasiteyi görünür kılmaktadır. Ancak ilham verme vurgusu, başarıların engelli bireylerin kendi yaşamlarının ötesinde başkaları için taşıdığı anlamı da öne çıkarmaktadır.

Empati ve duyarlılık kapsamında yer alan görme ve işitme kısıtlamalarını tecrübeye yönelik etkinlik, engellilik farkındalığına ilişkin öğretimsel yaklaşımlar açısından tartışılabilir. Hurst vd. (2012), ilkokul öğrencilerine uygulanan bir engellilik simülasyonu programından sonra engelli bireylere yönelik tutumlarda, özellikle işitme engelliliği bakımından olumlu değişim belirlemiştir. Buna karşılık Nario-Redmond vd. (2017), üniversite öğrencileriyle gerçekleştirdikleri deneylerde simülasyonların empatik ilgiyi artırmasına rağmen olumsuz duyguları da artırabildiğini ve engelli bireylerle etkileşime yönelik tutumları iyileştirmediğini ortaya koymuştur. VanPuymbrouck vd. (2017) ise meslekî eğitim bağlamında bu uygulamaların engelliliğe ilişkin yaşanmış deneyimleri yeterince yansıtamayabileceğine dikkat çekmiştir. Bu farklı sonuçlar, simülasyonların eğitsel etkilerinin uygulama biçimine, katılımcı özelliklerine ve bağlama göre değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. İncelenen ders kitabındaki etkinliğin öğrenciler üzerindeki etkisi ise bu araştırmanın kapsamı dışındadır.

Araştırmada, toplumsal katılım ders kitabında en sık karşılaşılan temadır. Hak ve erişilebilirlik ise en az karşılaşılan temadır. Yürüme güçlüğü yaşayan öğrencinin sınıfa erişimini kolaylaştıran düzenleme (s. 29) ve özel gereksinimli çocukların haklarına ilişkin açıklamalar (s. 147), engelliliğin çevresel koşullar ve kurumsal sorumluluklarla da ilişkilendirildiğini göstermektedir. Haegele ve Hodge (2016), engelliliğin tıbbi ve sosyal modellerini tartışırken bireysel özelliklerin yanı sıra çevresel ve toplumsal koşulların önemine dikkat çekmektedir. Dirth ve Branscombe (2017), sosyal modelin yapısal ayrımcılığa karşı verilen mücadeledeki desteğinin önemine vurgu yapmaktadır. İncelenen ders kitabında ise bireysel başarı, akran desteği, toplumsal katılım ve erişilebilirlik farklı bağlamlarda ele alınmaktadır. Bununla birlikte hak ve erişilebilirlik temasına yalnızca iki temsil vakasında rastlanmıştır. Bu durum, ders kitabında toplumsal katılıma daha fazla yer verilirken engelliliğin hak temelli boyutunun daha sınırlı ele alındığını göstermektedir.

5. SONUÇ

İncelenen 4. sınıf Sosyal Bilgiler ders kitabında engellilik veya özel ihtiyaçla ilişkili 10 temsil vakası, ünite hedeflerinden okuma ve haber metinlerine, etkinliklerden görsellere ve ölçme-değerlendirme içeriklerine kadar kitabın farklı bölümlerinde yer almaktadır. Otizm, konuşma, işitme ve yürüme güçlüğü, Down sendromu ve fiziksel engellilik gibi farklı durumlara yer verilse de fiziksel engellilik daha öne çıkmaktadır. Özellikle tekerlekli sandalye kullanımı belirgindir. Otizm ve işitme güçlüğü gibi durumlar daha çok metinler aracılığıyla temsil

edilmektedir.

Engelli veya özel gereksinimli bireyler öğrenci, arkadaş, sanatçı, sporcu, çalışan ve hak sahibi gibi çeşitli rollerde sunulmaktadır. Bu bireylerin eğitim, sanat, spor ve çalışma hayatında yer alması, engelliliğin yalnızca yardım veya bakım ihtiyacı üzerinden ele alınmadığını göstermektedir. Bazı anlatılarda ise aile, arkadaş, eğitim sistemi ve devlet desteği toplumsal katılımı kolaylaştıran unsurlar olarak öne çıkmaktadır. Engelliliğin anlamlandırılmasında en sık karşılaşılan tema toplumsal katılımdır. Bunu farklılık ve kapsayıcılık, başarı ve bireysel kapasite, empati ve duyarlılık, hak ve erişilebilirlik ile koruma ve destek temaları izlemektedir. Bazı başarı anlatılarında engelli bireylerin başkalarına ilham veren kişiler olarak sunulması, bireysel kapasitenin başarı odaklı bir söylemle de ilişkilendirildiğini göstermektedir.

Empati ve duyarlılık kapsamında öğrencilerin özel ihtiyaçlı arkadaşlarının yaşadıkları güçlükleri anlamalarına yönelik içeriklere yer verilmektedir. Hak ve erişilebilirlik ise yürüme güçlüğü yaşayan öğrencinin eğitim ortamına erişimi ile özel gereksinimli çocukların korunma, eğitim ve destek hakları üzerinden ele alınmaktadır.

Sonuç olarak ders kitabında engellilik, farklı toplumsal roller ve temalar aracılığıyla temsil edilmektedir. Fiziksel engelliliğin görsellerde daha belirgin olması ve hak temelli içeriklerin sınırlı kalması, engellilik temsillerinin çeşitlendirilmesi gerektiği anlamına gelmektedir.

Araştırma, 2025 yılı 4. sınıf Sosyal Bilgiler ders kitabıyla sınırlıdır. Farklı sınıf düzeylerine ait ders kitapları da işe koşulmalıdır. Geniş çaplı karşılaştırmalı incelemeler yapılmalıdır.

KAYNAKÇA

Aleidan, G. B., ve Alharbi, N. R. (2025). Disability representation in Saudi English language textbooks. *English Language Teaching, 18*(4), 69-88. https://doi.org/10.5539/elt.v18n4p69

Altıparmak, S., Kürekli, D., Özgören, E., Gülşen, F., Yılmaz, K., Okumuş, O., ve Savaş, Y. (2025). *Sosyal bilgiler 4. sınıf ders kitabı*. Millî Eğitim Bakanlığı Yayınları.

Bayar, M. F., ve Kurt, U. (2021). Ortaokul ders kitaplarındaki engelli bireylerle ilgili içeriklerin örtük program açısından incelenmesi. *Trakya Eğitim Dergisi, 11*(3), 1417–1430. https://doi.org/10.24315/tred.852229

Can, D., Pekbay, C., Hakverdi Can, M., Kaya, G., Avşar Tuncay, A., ve Candan, S. (2017). İlköğretim ders kitaplarında engellilik. *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 41*, 75–89. https://doi.org/10.9779/PUJE725

Cho, J. (2021). An analysis of disability-related contents represented in social studies textbooks. *The Journal of Learner-Centered Curriculum and Instruction, 21*(1), 1169–1192. https://doi.org/10.22251/jlcci.2021.21.1.1169

Deckman, S. L., Fulmer, E. F., Kirby, K., Hoover, K., ve Mackall, A. S. (2020). (Un)affirming assimilation: Depictions of dis/ability in health textbooks. Journal for Multicultural Education, 14(3-4), 269–280. https://doi.org/10.1108/JME-04-2020-0037

Dirth, T. P., ve Branscombe, N. R. (2017). Disability models affect disability policy support through awareness of structural discrimination. *Journal of Social Issues, 73*(2), 413–442. https://doi.org/10.1111/josi.12224

Gulya, N., ve Fehérvári, A. (2023). Addressing disability representation in EFL textbooks used in Hungarian public education. *International Journal of Educational Research Open, 4*, Article 100226. https://doi.org/10.1016/j.ijedro.2023.100226

Haegele, J. A., ve Hodge, S. (2016). Disability discourse: Overview and critiques of the medical and social models. *Quest, 68*(2), 193–206. https://doi.org/10.1080/00336297.2016.1143849

Hodkinson, A. (2007). Inclusive education and the cultural representation of disability and disabled people within the English education system: A critical examination of the mediating influence of primary school textbooks. IARTEM e-Journal, 1(1), 53–74.

https://doi.org/10.21344/iartem.v1i1.805
Hurst, C., Corning, K., ve Ferrante, R. (2012). Children's acceptance of others with disability: The influence of a disability-simulation program. *Journal of Genetic Counseling, 21*, 873–883. https://doi.org/10.1007/s10897-012-9516-8
Jensen, M. S., Herrebrøden, M., ve Andreassen, U. R. (2023). The invisible minority: Why do textbook authors avoid people with disabilities in their books? *International Journal of Inclusive Education, 27*(12), 1287–1303. https://doi.org/10.1080/13603116.2021.1889049
Karal, M. A., ve Ünlüol-Ünal, N. (2022). İlköğretim Türkçe ders kitaplarında özel gereksinimli bireyler. *Türk Eğitim Bilimleri Dergisi, 20*(3), 806–827. https://doi.org/10.37217/tebd.1065649
Mengi, A. (2019). Sosyal bilgiler ders kitabı ve öğretim programının engellilik açısından incelenmesi. *Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Özel Eğitim Dergisi, 20*(4), 707–736. https://doi.org/10.21565/ozelegitimdergisi.529379
Nario-Redmond, M. R., Gospodinov, D., ve Cobb, A. (2017). Crip for a day: The unintended negative consequences of disability simulations. Rehabilitation Psychology, 62(3), 324–333. https://doi.org/10.1037/rep0000127
Schalk, S. (2016). Reevaluating the supercrip. Journal of Literary & Cultural Disability Studies, 10(1), 71–86. https://doi.org/10.3828/jlcds.2016.5
Tuncer, A. T., Karasu, N., Altunay, B., ve Güler, Ö. (2011). Türkçe ilköğretim kitaplarında engel ve engellilik: Bir doküman analizi örneği. *Gazi Eğitim Fakültesi Dergisi, 31*(2), 439–457.
VanPuymbrouck, L., Heffron, J. L., Sheth, A. J., The, K. J., ve Lee, D. (2017). Experiential learning: Critical analysis of standardized patient and disability simulation. *Journal of Occupational Therapy Education, 1*(3), Article 5. https://encompass.eku.edu/jote/vol1/iss3/5

DENİZEL ATMOSFER KOŞULLARINDA FARKLI MALZEME GRUPLARINDA KOROZYONUN TASARIM ODAKLI DEĞERLENDİRİLMESİ VE KARAR ALTYAPISI MODELİNİN OLUŞTURULMASI

Eyüp ARIK
Pimeks Alüminyum PVC ve Metal San. Tic. A.Ş., Tasarım Merkezi, Ankara/Türkiye
ORCID ID: 0009-0001-7018-9959

ÖZET
Denizel atmosfer; yüksek nem, tuz aerosolleri ve klorür iyonlarının yoğun etkisi nedeniyle metalik malzemeler üzerinde yüksek düzeyde korozif bir çevre oluşturmaktadır. Bu ortamda meydana gelen korozyon hasarları, genellikle kullanım sonrasında uygulanan bakım ve onarım faaliyetleriyle giderilmeye çalışılmaktadır. Ancak korozyonun oluşumu ve ilerlemesi yalnızca malzemenin içsel özelliklerine bağlı olmayıp; malzeme seçimi, yüzey durumu, geometrik yapı, birleşim detayları ve çevresel etkilere maruz kalma biçimi gibi tasarım parametreleriyle de doğrudan ilişkilidir. Bu çalışmada korozyon, denizel atmosfer koşullarında yalnızca malzeme üzerinde meydana gelen bir hasar mekanizması olarak değil, tasarım sürecinin başlangıcından itibaren dikkate alınması gereken temel bir kriter olarak ele alınmaktadır. Bu doğrultuda çelik, boyalı çelik, paslanmaz çelik ve alüminyum malzemelerin korozyon davranışları incelenerek malzeme seçimi, tasarım detayları ve çevresel koşullar arasındaki ilişki değerlendirilmektedir. Bu çalışmanın temel amacı, malzemeleri yalnızca korozyon dirençlerine göre sıralamak değil; hangi malzemenin hangi çevresel koşullarda, hangi tasarım yaklaşımı ve kullanım beklentileri doğrultusunda tercih edilmesinin uygun olabileceğini ortaya koymaktır. Proje kapsamında geometrik tasarım, birleşim detayları, su ve nem birikimi, farklı malzemelerin ve metallerin teması ile yüzey özelliklerinin korozyon üzerindeki etkileri karşılaştırmalı olarak analiz edilmektedir. Projenin Ar-Ge niteliği, farklı malzeme gruplarının çevresel koşullarla birlikte değerlendirilmesi, malzeme ve çevresel veri etkileşiminin analiz edilerek gelecekteki ürün geliştirme ile tasarım süreçlerinde kullanılabilecek bir karar altyapısına dönüştürülmesinde yatmaktadır. Elde edilecek çıktılar ile yeni ürün tasarımlarında korozyon kaynaklı risklerin önceden öngörülmesi, bakım ve onarım gereksinimlerinin azaltılması, ürün kullanım ömrünün artırılması, korozyon kaynaklı maliyetlerin düşürülmesi ve uzun vadede maliyet etkin, sürdürülebilir tasarımların geliştirilmesine katkı sağlanması hedeflenmektedir.
Anahtar kelimeler: Denizel Atmosfer, Korozyon, Tasarım Odaklı Yaklaşım, Malzeme Seçimi, Karar Destek

DESIGN-ORIENTED ASSESSMENT OF CORROSION IN DIFFERENT MATERIAL GROUPS UNDER MARINE ATMOSPHERIC CONDITIONS AND DEVELOPMENT OF A DECISION-SUPPORT FRAMEWORK

ABSTRACT
Marine atmosphere creates a highly corrosive environment for metallic materials due to the intense impact of high humidity, salt aerosols, and chloride ions. Corrosion damage occurring in this environment is typically attempted to be mitigated through maintenance and repair activities applied after utilization. However, the initiation and propagation of corrosion depend not only on the intrinsic properties of the material but are also directly related to design parameters such as material selection, surface condition, geometric structure, connection

details, and the mode of exposure to environmental influences. In this study, corrosion is addressed not merely as a damage mechanism occurring on the material under marine atmospheric conditions, but as a fundamental criterion that must be considered from the very beginning of the design process. Accordingly, the corrosion behaviors of steel, painted steel, stainless steel, and aluminum materials are examined to evaluate the relationship between material selection, design details, and environmental conditions. The primary objective of this study is not simply to rank materials based on their corrosion resistance, but to demonstrate which material would be appropriate to prefer under which environmental conditions, in line with specific design approaches and performance expectations. Within the scope of the project, the effects of geometric design, connection details, water and moisture accumulation, contact between different materials and metals, and surface properties on corrosion are analyzed comparatively. The R&D nature of the project lies in evaluating different material groups together with environmental conditions and analyzing the interaction between material and environmental data to transform it into a decision-making infrastructure that can be utilized in future product development and design processes. With the outputs to be obtained, it is aimed to anticipate corrosion-induced risks in new product designs, reduce maintenance and repair requirements, increase product service life, lower corrosion-related costs, and contribute to the development of cost-effective and sustainable designs in the long term.
Keywords: Marine Atmosphere, Corrosion, Design-Oriented Approach, Material Selection, Decision Support

1. GİRİŞ

Denizel atmosfer; yüksek nem, tuz aerosolleri ve klorür iyonlarının yoğun etkisi nedeniyle metalik malzemeler üzerinde yüksek düzeyde korozif bir çevre oluşturmaktadır. Endüstriyel ve mimari uygulamalarda meydana gelen korozyon hasarları geleneksel olarak kullanım sonrası bakım ve onarım faaliyetleriyle giderilmeye çalışılmış olsa da, korozyon dayanımı tasarım aşamasındaki kararlara doğrudan bağlıdır.

Malzeme seçimi, geometrik yapı, yüzey durumu ve detay birleşimleri korozyonun başlama ve ilerleme hızını belirleyen ana unsurlardır. Bu çalışmada; S235JR karbon çeliği, boyalı S235JR çeliği, AISI 316 paslanmaz çelik ve EN AW-1050A alüminyum malzemelerinin denizel ortamlardaki korozyon davranışları tasarım odaklı bir yaklaşımla incelenmiş; malzeme birleşimleri, conta kullanımı ve bakım performansları değerlendirilerek bir karar destek altyapısı modeli oluşturulmuştur.

2. MATERYAL VE METOT

2.1. Denizel atmosfer koşullarının ve korozyon şiddetinin değerlendirilmesi

Deniz kıyısı bölgelerinde atmosferik korozyon; deniz suyundan kaynaklanan tuz aerosolleri, yüzeylerde biriken klorür iyonları, yüksek bağıl nem, sıcaklık değişimleri ve yüzey ıslanma süresinin ortak etkisiyle gelişmektedir. Kıyı şeridine yakın metalik yapı elemanlarında tuz birikiminin artması, koruyucu yüzey tabakalarının bozulmasına ve korozyon hızının yükselmesine neden olabilmektedir. Denizel atmosfer koşullarının korozyon şiddeti üzerindeki etkisi yalnızca denize olan uzaklıkla açıklanamamaktadır. Rüzgâr yönü ve hızı, dalga kaynaklı aerosol taşınımı, yağış, yerel hava kirliliği, kıyı geometrisi ve yapı elemanlarının maruziyet özellikleri de korozyon riskini belirleyen önemli parametrelerdir. Bu nedenle kıyı bölgelerinde malzeme dayanıklılığının değerlendirilmesinde klorür birikimi, atmosferik kirleticiler ve meteorolojik veriler birlikte ele alınmalıdır. Bu kapsamda, denizel atmosferin korozyon şiddeti üzerindeki etkilerinin belirlenmesi; malzeme seçimi, yüzey koruma sistemlerinin tasarımı ve bakım gereksinimlerinin öngörülmesi açısından önem taşımaktadır. Korozyon şiddetinin

sınıflandırılması için atmosferik maruziyet verilerinin, uygun standartlara göre gerçekleştirilen korozyon hızı ölçümleriyle desteklenmesi gerekmektedir.

Tablo 1. Denizel atmosfer koşullarının etkileri ve değerlendirme ölçütleri

Değerlendirme ölçütü	Ölçülecek veya incelenecek parametre	Projedeki önemi
Klorür birikimi	mg Cl^-/(m^2·gün)	Deniz tuzlarının yüzeylere taşınma düzeyini belirler.
Atmosferik korozyon hızı	g/(m^2·yıl) veya µm/yıl	Metalin ilk yıl içerisindeki korozyon kaybını belirler.
Bağıl nem	%	Yüzeyde elektrolit tabakası oluşması olasılığını etkiler.
Yüzey ıslanma süresi	saat/yıl	Korozyon reaksiyonlarının gerçekleşebileceği süreyi değerlendirmeye yardımcı olur.
Atmosferik kirleticiler	SO_2 ve ilgili kirleticilerin ölçüm değerleri	Deniz tuzuna ek olarak kentsel ve endüstriyel etkileri ortaya koyar.
Kaplama performansı	Kuru film kalınlığı (µm), yapışma ve süreksizlikler	Koruyucu sistemin yeterliliğini ve yerel hasar riskini değerlendirir.
Tasarım ve birleşim detayları	Su tutma, drenaj, yarıklar, galvanik temas	Lokal korozyon ve kaplama hasarı risklerini belirler

Bölgenin atmosfer koşullarının belirlenmesi adına bazı ölçütlerin alınması gerekmektedir. Bunlardan bazıları aşağıda belirtilmiştir. Denizel atmosfer koşullarının korozyon şiddeti, EN ISO 12944-2 kapsamında kıyı ortamının tuzluluk düzeyi ve diğer çevresel etkenler dikkate alınarak C3, C4, C5 veya gerekli durumlarda CX kategorisi üzerinden değerlendirilebilir. Buradaki amaç malzemenin ortam şartlarında korozyon sınıfının belirlenmesidir.

Tablo 2. EN 12944-2 standardına göre korozyon sınıfları

DIN EN ISO 12944-2'ye göre	Açıklamalar	Korozyon sınıfı
C1	Dahili, maruz kalmayan ve kuru ortam	Çok düşük
C2	Kırsal, çevre ile hafif sanayi ve kentsel alanlar; tipik olarak ağır sanayiden 500 m'den daha uzaktadır.	Düşük
C3	Bitişik olarak belirlenmiş endüstriyel ortamlar veya hafif deniz alanları (deniz ortamından min. 1000 m uzaklıkta).	Orta
C4	Yüksek emisyonlu ağır sanayi veya kıyıdan iç yöne doğru 100 ile 300 m arasındaki denize yakın ortamlar.	Yüksek
C5 I / C5 M	Açık deniz uygulamaları da dahil olmak üzere deniz alanları ve kıyıdan 100 m'den daha az mesafedeki binalar.	Çok Yüksek

Kullanılacak olan malzemenın bakım ve kullanım ömrünün belirlenmesi gerekmektedir.EN ISO 12944-2 göre kullanım ömürleri matrisi esas alınmıştır(Tablo 3).

Tablo 3. EN ISO 12944-2 göre Malzeme Ömürleri Tablosu

Korozyon Sınıfı	L (Low: 7-15 yıl)	M (Medium: 15-25 yıl)	H (High: 25-50 yıl)	VH (Very High: 50+ yıl)
C1 (Very Low)	7-15 yıl	15-25 yıl	25-50 yıl	50+ yıl
C2 (Low)	7-15 yıl	15-25 yıl	25-50 yıl	50+ yıl
C3 (Medium)	7-15 yıl	15-25 yıl	25-50 yıl	50+ yıl
C4 (High)	7-15 yıl	15-25 yıl	25-50 yıl	50+ yıl
C5 (Very High)	7-15 yıl	15-25 yıl	25-50 yıl	50+ yıl
CX (Extreme)	7-15 yıl	15-25 yıl	25-50 yıl	50+ yıl

Belirtilen standart görüşleri ele alındığında TS ISO EN 12944-2 ve TS EN ISO 9223 e göre en az C4 high ele alınması gerektiği saptanmaktadır. Türkiye Atmosferik Korozyon Ortamları Haritası verilerine göre Marmara, Ege ve Akdeniz kıyı şeritlerinde baskın koroziflik kategorisi C4–C5 aralığında değişmektedir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Malzeme özelliklerinin korozyon üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi

Denizel atmosfer koşullarında incelenen farklı malzeme gruplarının korozyon davranışları aşağıda açıklanmıştır:

3.1.1. S235JR Karbon çeliği

S235JR, esas olarak demir (Fe) içeren düşük karbonlu bir yapı çeliğidir.

- Demir (Fe): Nem ve oksijen varlığında oksitlenerek korozyon ürünlerinin oluşmasına neden olur. Denizel ortamda klorür birikimi, yüzeydeki elektrokimyasal korozyon süreçlerini hızlandırabilir.
- Karbon (C): Esas olarak dayanım ve metalürjik yapı üzerinde etkilidir. Düşük karbon içeriği tek başına atmosferik korozyon direncini önemli ölçüde artırmaz.
- Mangan (Mn): Mekanik özellikleri ve üretim davranışını etkiler; S235JR'ye belirgin bir pasifleşme özelliği kazandırmaz.
- Korozyon açısından sonuç: Kaplamasız S235JR, denizel atmosferde koruyucu bir boya veya uygun başka bir yüzey koruma sistemi olmadan kullanıldığında genel korozyon ve yerel metal kaybı riski taşımaktadır.

3.1.2. Boyalı S235JR Karbon çeliği

Boyalı S235JR'nin ana metal kimyası, kaplamasız S235JR ile aynıdır. Korozyon performansındaki temel farklılık, boya sisteminin çelik yüzeyiyle birlikte oluşturduğu koruyucu bariyerden kaynaklanır.

- Demir (Fe): Boya hasar gördüğünde veya yüzeyde süreksizlik oluştuğunda nem ve oksijenle temas ederek korozyona uğrayabilir.
- Karbon (C) ve mangan (Mn): Esas olarak çeliğin mekanik ve metalürjik özelliklerini etkiler; boya sisteminin kimyasal direncini doğrudan belirlemez.
- Boya sistemleri: Epoksi ve poliüretan gibi organik bağlayıcılar, suyun ve korozif maddelerin çelik yüzeyine ulaşmasını sınırlar. Performansları ürün formülasyonuna ve uygulama koşullarına bağlıdır.
- Kaplama kalınlığı ve yapışma: Kimyasal bileşim kadar önemlidir. Yetersiz yüzey hazırlığı, kaplama süreksizlikleri ve düşük yapışma, korozyon riskini artırabilir.

Korozyon açısından sonuç: Boyalı S235JR'nin denizel atmosferdeki dayanımı yalnızca ana metalin bileşimiyle açıklanmamalıdır. Boya sisteminin türü, yüzey hazırlığı, kuru film kalınlığı, yapışma kalitesi ve bakım koşulları birlikte değerlendirilmelidir. Çizik veya kaplama hasarı bulunan bölgelerde yerel korozyon gelişebilir.

3.1.3. AISI 316 Paslanmaz çelik

AISI 316'nın denizel atmosfer açısından temel avantajı, kimyasal bileşiminde bulunan krom (Cr), nikel (Ni) ve molibdenin (Mo) birlikte oluşturduğu metalürjik ve elektrokimyasal özelliklerdir.

- Krom (Cr): Yüzeyde ince, yapışkan ve kendini yeniden oluşturabilen pasif oksit tabakasının meydana gelmesini sağlar. Bu tabaka, metalin çevreyle reaksiyonunu sınırlamaktadır.
- Nikel (Ni): Östenitik yapının kararlılığını ve genel metalürjik özellikleri destekler. Pasif tabakanın klorürlere karşı direncini tek başına belirleyen element değildir.
- Molibden (Mo): Klorür içeren ortamlarda çukurcuk korozyonuna ve belirli koşullarda yarık korozyonuna karşı direncin artırılmasında önemli rol oynar.
- Kükürt (S) ve inklüzyonlar: Özellikle mangan sülfür gibi inklüzyonlar, bazı koşullarda çukurcuk korozyonunun başlaması için uygun bölgeler oluşturabilir.

Korozyon açısından sonuç: AISI 316, S235JR'ye kıyasla denizel atmosferde genellikle daha yüksek korozyon direnci sunar. Bununla birlikte yüksek klorür birikimi, yüzeyde uzun süreli nem, dar birleşimler ve temizlenmeyen tortular altında çukurcuk ve yarık korozyonu görülebilir.

3.1.4. EN AW-1050A alüminyum

EN AW-1050A, en az %99,5 alüminyum içeren ticari saflıkta bir alaşımdır. Korozyon davranışının temelini alüminyumun oksijenle temas ettiğinde oluşturduğu doğal oksit tabakası meydana getirir.

- Alüminyum (Al): Yüzeyde ince bir alüminyum oksit tabakası oluşturarak metalin daha fazla oksitlenmesini sınırlar. Bu pasif tabaka, uygun koşullarda kendini yeniden oluşturabilir.
- Silisyum (Si) ve demir (Fe): Ticari saflıktaki alüminyumda bulunan sınırlı miktardaki safsızlıklardır. Faz dağılımları ve mikro yapı, lokal elektrokimyasal davranışı etkileyebilir.
- Bakır (Cu): Düşük miktarlarda bulunur; ancak bakır içeren bölgeler, alaşımın mikro yapısına bağlı olarak çevresindeki alüminyumla elektrokimyasal farklılık gösterebilir.
- Magnezyum (Mg) ve mangan (Mn): 1050A kalitesinde sınırlıdır. Bu nedenle alaşımın korozyon davranışı, yüksek miktarda alaşım elementi içeren alüminyum alaşımlarıyla aynı kabul edilmemelidir.
- Klorür iyonları (Cl^-): Alüminyumun doğal oksit tabakasını yerel olarak bozarak çukurcuk korozyonunu başlatabilir. Özellikle tuz birikimi, nem ve yetersiz yüzey temizliği birlikte etkili olabilir.

Korozyon açısından sonuç: EN AW-1050A, doğal oksit tabakası sayesinde birçok atmosferik ortamda iyi korozyon direnci gösterir. Bununla birlikte denizel atmosferde lokal çukurcuk korozyonu gelişebilir. Alüminyumun paslanmaz çelik veya karbon çeliğiyle elektriksel teması da nemli ve iletken bir ortamda galvanik korozyon riski oluşturabilir; bu risk temas geometrisi, alan oranı ve izolasyon koşullarına bağlıdır.

İncelenen malzeme gruplarının korozyon özellikleri Tablo 4'te özetlenmiştir.

Tablo 4. Malzeme özelliklerinin korozyon üzerinde etkileri

Malzeme / sistem	Korozyon direncini belirleyen temel unsur	Denizel atmosferde başlıca risk
S235JR	Demir esaslı yapı; kendiliğinden kararlı pasif film bulunmaması	Genel atmosferik korozyon ve pas oluşumu
Boyalı S235JR	Boya sisteminin bariyer ve varsa inhibitör/galvanik koruma mekanizması	Çizik, kaplama hasarı, yetersiz yapışma ve film altı korozyon
AISI 316	Krom esaslı pasif tabaka ve molibden katkısı	Klorür kaynaklı çukurcuk ve yarık korozyonu
EN AW-1050A	Doğal alüminyum oksit tabakası	Klorür kaynaklı lokal çukurcuk korozyonu ve galvanik temas

Bu bulgular doğrultusunda, malzeme seçiminin yalnızca kimyasal bileşim üzerinden yapılmasının yeterli olmadığı görülmektedir. Denizel atmosferdeki performansın belirlenmesinde alaşım elementleriyle birlikte yüzey durumu, koruyucu kaplama sistemi, geometrik tasarım ve birleşim detayları değerlendirilmesi gerekmektedir.

3.2. Malzeme birleşim detaylarının korozyon açısından değerlendirilmesi

Malzeme birleşimleri, özellikle denizel atmosfer koşullarında çalışan metal konstrüksiyonlar ve birleşimlerde korozyon dayanımını belirleyen en önemli tasarım parametrelerinden biridir. Korozyon yalnızca malzemenin kimyasal bileşimine ve çevresel etkilere bağlı değildir; birleştirilen malzemelerin türü, temas yüzeyleri, bağlantı geometrisi, yüzey kaplamaları ve nemin birleşim bölgesinde tutulması da korozyonun oluşumunu ve ilerlemesini doğrudan etkiler.

3.2.1. Galvanik korozyon

Farklı elektrokimyasal özelliklere sahip iki metal elektriksel olarak temas ettiğinde ve aralarında nem veya tuzlu su gibi bir elektrolit bulunduğunda galvanik korozyon meydana gelebilir. Daha aktif metal genellikle anot olarak davranarak daha hızlı aşınır.

3.2.2. Aralık (Yarık) korozyonu

Üst üste binen saclarda, cıvata altlarında ve dar bağlantı aralıklarında nem, tuz ve kir birikebilir. Oksijenin sınırlı olduğu bu bölgelerde yerel elektrokimyasal farklılıklar oluşarak korozyon hızlanabilir. Alüminyum cephe aksesuarlarının bindirmeli bağlantıları.

3.2.3. Kaynak ve ısıdan etkilenen bölge

Kaynak işlemi, ana malzeme ile kaynak metali arasında mikroyapısal farklılıklar oluşturabilir. Ayrıca kaynak sıçrantıları, oksitler ve kaplama hasarları koruyucu sistemin sürekliliğini bozabilir.

3.2.4. Geometrik tasarım ve su tutma

Su tahliyesinin yetersiz olduğu köşeler, kapalı profiller, yatay yüzeyler ve dar birleşimler, klorür birikimini ve ıslanma süresini artırabilir. Bu durum, aynı malzemenin farklı geometrilerde farklı korozyon davranışı göstermesine neden olur. Malzeme birleşim durumlarından dolayı korozyon bağlantı detayları risklerinin tablosu gösterilmektedir.

Tablo 5. Birleşim detaylarının malzeme üzerinde korozyona etkisinin tablosu

Malzeme birleşimi	Başlıca korozyon riski	Risk düzeyi	Kritik bölge
Çelik – Çelik	Yüzey oksidasyonu, nem tutma, yarık korozyonu	Orta	Cıvata altları, bindirme yüzeyleri
Boyalı çelik – Çelik	Boya hasarı, kaplama altı korozyon, açıkta kalan çelik yüzeyde paslanma	Orta–Yüksek	Delik çevresi, boya hasarlı temas yüzeyleri
Paslanmaz çelik – Paslanmaz çelik	Klorür kaynaklı çukurcuk korozyonu ve yarık korozyonu	Düşük–Orta	Rondela altları, dar bağlantı aralıkları
EN AW-1050	Galvanik korozyon; çinko kaplamanın ve koşullara bağlı olarak alüminyumun zarar görmesi	Yüksek	Doğrudan metal teması ve tuzlu su tutan bağlantı bölgesi

Galvanik ve yarık korozyonu risklerini azaltmak amacıyla birleşim detaylarında EPDM sızdırmazlık contalarının kullanımı kritik bir tasarım parametresidir. Yalıtkan EPDM contalar metalik teması keserek galvanik korozyonu önler ve su/klorür girişini engeller. Ancak hatalı montaj veya conta altında nem birikmesi durumunda yarık korozyonunu artırabileceği için montaj operatörünün yetkinliği de büyük önem taşır.

3.3. Bakım performanslarının korozyon tasarımı üzerinden değerlendirilmesi

Conta kullanılan farklı malzeme birleşimlerinin periyodik bakım ihtiyacı, korozyon riski ve kontrol sıklıkları Karar Destek Modeli kapsamında Tablo 6'da değerlendirilmiştir.

Tablo 6. Birleşim detaylarında conta kullanımının korozyona etkisinin tablosu

Malzeme birleşimi	Conta yaşlanması ve sızdırmazlık riski	Korozyon riski	Periyodik bakım ihtiyacı	Önerilen Kontrol aralığı
Çelik – çelik	3	3	3	3 ay
Boyalı çelik – çelik	4	4	4	6 ay
Paslanmaz çelik – paslanmaz çelik	3	2	2	12 ay
EN AW-1050 alüminyum – galvanizli çelik	4	5	5	6 ay

4. SONUÇLAR

Denizel atmosfer koşullarında conta kullanılan malzeme birleşimleri korozyon dayanımı, bakım ihtiyacı ve kullanım ömrü kriterlerine göre değerlendirildiğinde öne çıkan sonuçlar Tablo 7'de verilmiştir.

Tablo 7. Malzeme birleşimlerinin nihai değerlendirme matrisi

Malzeme birleşimi	Korozyon dayanımı	Bakım ihtiyacı	Temel değerlendirme
Çelik–çelik	Koruyucu kaplama mevcut değildir.	Orta	Ekonomik olabilir; kaplama ve pas kontrolü gerekir
Boyalı çelik–çelik	Boya sistemine ve uygulama kalitesine bağlı	Orta- yüksek	Boya hasarları ve bağlantı kenarları düzenli izlenmelidir.
Paslanmaz çelik–paslanmaz çelik	Paslanmaz çelik kalitesine ve tasarıma bağlı olarak yüksek	Düşük orta	Uygun alaşım ve yarık korozyonunu önleyen tasarımla avantaj

			sağlayabilir.
EN AW-1050 alüminyum–galvanizli çelik	Elektriksel temas ve nem koşullarına duyarlı	Orta yüksek	Yalıtkan ara parça, su tahliyesi ve galvaniz kaplama kontrolü önemlidir.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda, düşük bakım ihtiyacı ve uzun kullanım ömrü hedeflenen denizel atmosfer uygulamalarında doğru bağlantı geometrisi ve conta detaylarıyla desteklenmiş paslanmaz çelik – paslanmaz çelik birleşimlerinin en güvenilir çözüm olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

Aksu, A. (2015). “Sources of metal pollution in the urban atmosphere (A case study: Tuzla, Istanbul).” Journal of Environmental Health Science and Engineering, 13, 79.

ISO 8044:2024. (2024). Corrosion of metals and alloys — Basic terms and definitions. International Organization for Standardization.

TS EN ISO 9223. Metallerin ve alaşımların korozyonu - Atmosferik koroziflik - Sınıflandırma, belirleme ve tahmin.

TS EN ISO 12944-2. Boya ve vernikler - Çelik yapıların koruyucu boya sistemleriyle korozyona karşı korunması - Bölüm 2: Çevrelerin sınıflandırılması.

ÇİFT BORULU ISI DEĞİŞTİRİCİLERDE FARKLI TİP FAZ DEĞİŞTİREN MALZEMELERİN PERFORMANSININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Mahir ŞAHİN
Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Adana
ORCID: 0000-0002-9565-9160
Prof. Dr. Mustafa KILIÇ
Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Adana
ORCID: 0000-0002-8006-149X

ÖZET
Faz değiştiren malzemeler (PCM), yüksek enerji depolama yoğunluğunu dar bir sıcaklık aralığında sağlamakla birlikte, düşük ısıl iletkenlikleri şarj ve deşarj hızlarını sınırlamaktadır. Çift borulu ısı değiştiriciler, basit ve kompakt yapıları nedeniyle PCM esaslı gizli ısıl enerji depolama birimlerinde en yaygın incelenen konfigürasyonlardan biridir. Bu çalışmada, PCM'nin iç boru ile dış boru arasındaki halka bölgede depolandığı çift borulu ve eş eksenli tek borulu depolama birimlerine ilişkin literatür; PCM türü, faz değişim sıcaklığı, ısı transferi iyileştirme yöntemi, araştırma yöntemi ve raporlanan performans değişimi açısından değerlendirilmiştir. Ayrıca PCM sınıfları, ticari ürünler ve termofiziksel özellikleri ile ısı transferi iyileştirme yöntemlerinin pasif, aktif ve bileşik olarak sınıflandırılması ele alınmıştır. Sonuçlar, organik ve özellikle RT serisi parafinlerin baskın olduğunu ve kullanılan PCM'lerin faz değişim sıcaklıklarının büyük ölçüde 25–45 °C aralığında yoğunlaştığını göstermektedir; tuz hidratlar ile 100 °C üzerindeki PCM'ler ise sınırlı sayıda incelenmiştir. Kanatçık eklenmesi erime süresini kanatçıksız duruma göre %59–65 azaltırken, ısı boruları ve metal köpükler %40–91 düzeyinde kazanç sağlamaktadır. Nanopartikül katkısının etkisi %13 ile sınırlı kalmakta ve bazı koşullarda doğal taşınımı zayıflatarak şarj süresini uzatmaktadır. Yalnızca dönmenin uygulandığı aktif yöntemlerde sayısal çalışmalar %15–47, deneysel çalışmalar ise en fazla %37,5 iyileşme raporlamaktadır. İletken yol oluşturan yöntemler katılaşmada, doğal taşınımı güçlendiren düzenlemeler ise erimede daha etkilidir; aşağı yönde eksantriklik gibi bazı düzenlemeler erimeyi hızlandırırken katılaşmayı yavaşlatmaktadır. Bulgular, tasarımın tam şarj–deşarj çevrimine göre yapılması, sonuçların eşit PCM kütlesi ve standart performans göstergeleriyle raporlanması ve tuz hidratlar ile orta ve yüksek sıcaklık PCM'lerine yönelik deneysel çalışmaların artırılması gerektiğini göstermektedir.
Anahtar Kelimeler: Gizli ısıl enerji depolama; faz değiştiren malzeme seçimi; çift borulu ısı değiştirici; ısı transferi iyileştirme; parafin esaslı PCM.

PERFORMANCE EVALUATION OF DIFFERENT TYPES OF PHASE CHANGE MATERIALS IN DOUBLE-PIPE HEAT EXCHANGERS

ABSTRACT
Phase change materials (PCMs) provide high energy storage density within a narrow temperature range, but their low thermal conductivity limits charging and discharging rates. Owing to their simple and compact structure, double-pipe heat exchangers are among the most widely investigated configurations for PCM-based latent heat thermal energy storage units. In this study, the literature on double-pipe and concentric single-tube storage units in which the

PCM is stored in the annulus between the inner and outer tubes is evaluated in terms of PCM type, phase change temperature, heat transfer enhancement technique, research method and reported performance change. PCM classes, commercial products and their thermophysical properties, together with the classification of heat transfer enhancement techniques into passive, active and compound methods, are also addressed. The results show that organic PCMs, particularly RT-series paraffins, dominate the literature and that the phase change temperatures of the PCMs used are largely concentrated in the 25–45 °C range, whereas salt hydrates and PCMs above 100 °C have rarely been investigated. Adding fins reduces the melting time by 59–65% compared with the unfinned unit, while heat pipes and metal foams provide gains of 40–91%. The effect of nanoparticle addition remains limited to 13% and, under certain conditions, prolongs charging by weakening natural convection. For rotation alone, numerical studies report improvements of 15–47%, whereas experimental studies report at most 37.5%. Techniques that create conductive paths are more effective during solidification, whereas configurations that strengthen natural convection are more effective during melting; some configurations, such as downward eccentricity, accelerate melting but slow solidification. The findings indicate that designs should be based on the complete charging–discharging cycle, that results should be reported for equal PCM mass with standardized performance indicators, and that experimental studies on salt hydrates and medium- and high-temperature PCMs should be expanded.
Keywords: Latent heat thermal energy storage; Phase change material selection; Double-pipe heat exchanger; Heat transfer enhancement; Paraffin-based PCM.

1. INTRODUCTION

The increasing share of intermittent renewable energy sources, particularly solar energy, has made thermal energy storage (TES) an essential component of modern energy systems. Because solar radiation depends on the time of day and weather conditions while the thermal demand may continue after sunset, a storage unit is needed to decouple energy supply from energy demand. Similar temporal mismatches occur in industrial waste heat recovery, district heating and cooling and building energy systems [1, 2]. In all of these applications the storage unit is coupled to a heat exchanger, whose design is governed by a large number of interacting geometric and operating parameters; this complexity has motivated both experimental investigations and data-driven design approaches based on machine learning [3].

Among the available storage methods, latent heat thermal energy storage (LHTES) is particularly attractive because thermal energy is stored and released through the phase change of a phase change material (PCM) within a narrow temperature interval. During charging, heat supplied by a heat transfer fluid (HTF) melts the PCM; during discharging, the PCM solidifies and returns the stored energy to the HTF [4, 5]. For a temperature difference of 10 K, water stores approximately 42 kJ/kg as sensible heat, whereas commercial PCMs store 160–240 kJ/kg within their phase change range [6, 7]. The practical use of this high storage density, however, depends on how effectively heat can be transferred between the HTF and the PCM.

The principal limitation of most PCMs is their low thermal conductivity, which is approximately 0.2 W/m·K for organic PCMs. Consequently, a large part of the research on LHTES has focused on heat transfer enhancement. In conventional heat exchangers, enhancement techniques are classified as passive, active and compound methods according to whether external power is required [8], and their effect is commonly evaluated through the heat transfer rate and the effectiveness, as demonstrated for plate and frame heat exchangers under different flow rates and inlet temperatures [9]. In PCM-based units, however, the dominant thermal resistance lies on the PCM side, so that fins, porous structures, heat pipes, nanoparticles

and modified geometries are introduced into or around the storage medium [10, 11]. Additives also play a role on the fluid side: nanofluids, for instance, have been shown to modify the heat transfer in shell-and-tube heat exchangers depending on the nanoparticle volume fraction and particle size [12].

Double-pipe heat exchangers are among the most widely studied configurations for LHTES. In a conventional arrangement, the HTF flows through the inner tube while the PCM fills the annulus between the inner and outer tubes. This configuration provides a simple and compact geometry with a well-defined separation between the HTF and the storage medium, and it allows the inner tube diameter, annular gap, eccentricity, orientation and cross-sectional geometry to be varied without changing the storage concept [13, 14]. The thermophysical parameters of the PCM, such as its melting temperature, latent heat and thermal conductivity, have a strong influence on the performance of such heat exchangers [15], and the interaction between material properties and geometry determines the charging and discharging behaviour of the unit [16].

PCMs have also been integrated into regenerative heat exchangers, where the stored heat is recovered in a subsequent flow period. In such systems, the use of organic and inorganic PCMs has been shown to change the effectiveness of the heat exchanger depending on the PCM type and operating conditions [17]. Moreover, enhancement elements placed on the HTF side, such as internal vortex generators combined with external fins [18] or hemispherical turbulators in a double-pipe regenerative heat exchanger containing PCM [19], can increase the heat transfer between the fluid and the storage medium. These studies show that the performance of a PCM-based double-pipe unit is determined jointly by the PCM, the HTF-side and PCM-side heat transfer surfaces and the operating conditions.

Despite the large number of studies, the literature on double-pipe PCM storage units remains fragmented. Studies use different PCMs, geometries, HTF conditions, boundary conditions and performance indicators, and the reported improvements are calculated relative to different reference cases. As a result, it is difficult to determine which PCMs are preferred for which temperature ranges and how much improvement can realistically be expected from each enhancement technique. The aim of this study is therefore to evaluate the PCM types used in double-pipe LHTES units and the heat transfer enhancement techniques applied to them on the basis of the quantitative results reported in the literature. To this end, (i) the classes, commercial products and thermophysical properties of PCMs are summarized, (ii) the distribution of PCM selection in the literature is analysed in terms of PCM class and phase change temperature, (iii) the effects of passive, active and compound enhancement techniques on melting and solidification times are compared, and (iv) the remaining research gaps are identified.

2. PHASE CHANGE MATERIALS FOR LATENT HEAT STORAGE

2.1 Classification of Phase Change Materials

PCMs are commonly classified into organic, inorganic and eutectic materials according to their chemical composition (Figure 1) [1, 4]. Organic PCMs are divided into paraffins and non-paraffin organics. Paraffins consist of straight-chain alkanes such as n-octadecane and n-eicosane; commercial paraffin blends, such as the Rubitherm RT series and the PlusICE A series, are available over a wide range of phase change temperatures. Non-paraffin organics include fatty acids such as lauric, capric and stearic acid, sugar alcohols such as erythritol and D-mannitol, and bio-based PCMs derived from plant sources. Inorganic PCMs mainly comprise salt hydrates, such as $CaCl_2 \cdot 6H_2O$, $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$ and sodium acetate trihydrate, together with salts and metallic PCMs for higher temperatures. Eutectic PCMs are mixtures of two or more components that melt and solidify congruently at a fixed composition, and their phase change

temperature can be tailored to the application by adjusting the composition [2].

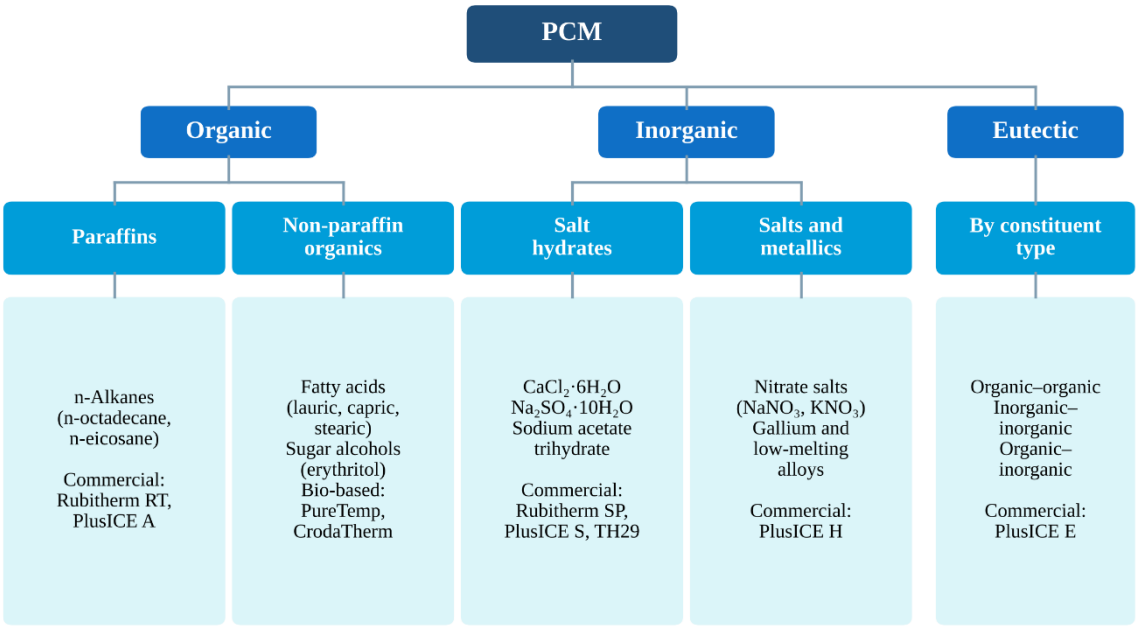


Figure 1. Classification of phase change materials with representative pure substances and commercial products

2.2 Thermophysical and Operational Characteristics

The PCM classes differ considerably in their thermophysical and operational characteristics (Table 1). Paraffins are chemically stable, show negligible supercooling and are non-corrosive, which makes them the most common choice in heat exchanger applications; their main drawbacks are low thermal conductivity, flammability and a volume expansion of approximately 10–15% upon melting. Fatty acids have similar thermal properties but are mildly corrosive. Salt hydrates offer higher latent heat, higher thermal conductivity and higher volumetric storage density; however, supercooling, phase segregation due to incongruent melting and corrosion of metallic containers can reduce their storage capacity over repeated cycles [1, 2].

Table 1. Thermophysical and operational characteristics of PCM classes

Property	Paraffins	Fatty acids	Salt hydrates	Eutectics
Phase change temperature	20–70 °C (commercial: −9 to 128 °C)	20–70 °C	30–120 °C (commercial: −50 to 117 °C)	Adjustable by composition
Latent heat	150–250 kJ/kg	150–200 kJ/kg	200–350 kJ/kg	Depends on constituents
Thermal conductivity	0.2–0.4 W/m·K	0.2–0.3 W/m·K	0.5–1.2 W/m·K	Depends on constituents
Density	≈ 770–930 kg/m³	≈ 850–1000 kg/m³	≈ 1500–1700 kg/m³	Depends on constituents
Supercooling	Negligible	Low	Significant	Depends on constituents
Phase segregation	Not observed	Not observed	Occurs with incongruent melting	Avoided by congruent melting
Corrosion and flammability	Non-corrosive; flammable	Mildly corrosive; flammable	May corrode metals; non-flammable	Depends on constituents

Commercial ranges are based on the Rubitherm RT and SP series and the PlusICE S series [6,

7].

2.3 Commercial Phase Change Materials

A large proportion of the PCMs used in research and practice are commercial products (Table 2). In the Rubitherm product range, the RT series consists of paraffin-based organic PCMs and the SP series of salt-hydrate-based inorganic PCMs; the high-capacity (HC) versions of the RT series store approximately 25–30% more latent heat and melt within a narrower temperature range [6]. In the PlusICE range, the letter code indicates the material class: A denotes organic, S salt hydrate, E eutectic, H high-temperature and X solid–solid PCMs [7]. PureTemp and CrodaTherm products are bio-based organic PCMs produced from plant-derived feedstocks [20, 21]. In most commercial codes, the number indicates the nominal phase change temperature.

Table 2. Commercial PCM manufacturers and product coding

Manufacturer	Series	Material class	Temperature range	Example products
Rubitherm	RT / RT HC	Paraffin-based organic	−9 to 128 °C	RT18, RT35, RT35HC, RT50, RT82
Rubitherm	SP	Salt-hydrate-based inorganic	−50 to 90 °C	SP24E, SP29Eu, SP50_gel
PCM Products	PlusICE A	Organic	2 to 164 °C	A22, A58, A82, A118
PCM Products	PlusICE S	Salt hydrate	8 to 117 °C	S27, S46, S58, S89
PCM Products	PlusICE E / H / X	Eutectic / high-temperature / solid–solid	−74 to 885 °C	E series, H105, H250
PureTemp	PureTemp	Bio-based organic	−40 to 151 °C	Average ≈ 200 kJ/kg
Croda	CrodaTherm	Plant-based organic	Application-specific	CrodaTherm 21
TEAP	TH	Salt hydrate	Low temperature	TH29

Sources: manufacturer product lists [6, 7, 20]. HC: high-capacity version.

The manufacturer data of selected commercial PCMs are summarized in Table 3 and Figure 2. The comparison clearly shows the effect of the material class on thermal conductivity: the organic products have thermal conductivities of 0.18–0.23 W/m·K, whereas the salt-hydrate-based products reach 0.54–0.69 W/m·K. For RT35, the manufacturer reports a melting range of 32–38 °C, a heat storage capacity of 160 kJ/kg, densities of 0.86 and 0.77 kg/L in the solid and liquid phases and a volume expansion of 12.5% [6]. These values explain why heat transfer enhancement is practically indispensable in double-pipe units operating with organic PCMs.

Table 3. Manufacturer data of selected commercial PCMs

Product	Manufacturer	Class	Phase change (°C)	Heat storage capacity (kJ/kg)
RT18	Rubitherm	Paraffin	18	150
RT35	Rubitherm	Paraffin	32–38	160
RT35HC	Rubitherm	Paraffin	35	240
RT50	Rubitherm	Paraffin	50	160
RT82	Rubitherm	Paraffin	82	170
PlusICE A58	PCM Products	Organic	58	240
PlusICE A82	PCM Products	Organic	82	240
SP29Eu	Rubitherm	Salt hydrate	29–31	200
SP50_gel	Rubitherm	Salt hydrate	49–50	220
PlusICE S27	PCM Products	Salt hydrate	27	185
PlusICE S58	PCM Products	Salt hydrate	58	145
PlusICE S89	PCM Products	Salt hydrate	89	145

Source: manufacturer product lists [6, 7]. Thermal conductivity values are given in Figure 2(b).

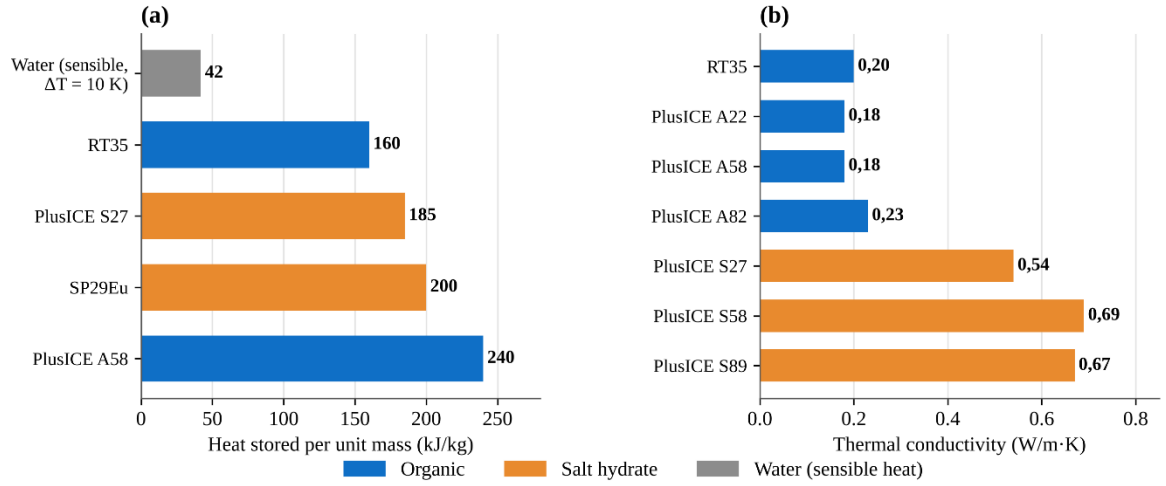


Figure 2. (a) Heat stored per unit mass and (b) thermal conductivity of selected commercial PCMs compared with sensible heat storage in water (manufacturer data [6, 7])

2.4 Application Temperature Ranges

The decisive criterion in PCM selection is the compatibility of the phase change temperature with the operating temperature of the application, rather than the latent heat alone. A PCM whose phase change temperature lies well below or above the available HTF temperature cannot undergo the desired phase transition effectively, regardless of its latent heat. Table 4 summarizes the typical application areas of PCMs according to the phase change temperature, together with representative products.

Table 4. Application areas of PCMs according to the phase change temperature

Temperature range	Typical applications	Representative PCMs
−75 to 0 °C	Cold chain, frozen-food transport, refrigeration	PlusICE E series, SP-21, RT-4
0 to 30 °C	Building energy systems, air conditioning, cool storage	RT18, RT21, SP24E, PlusICE A22, CrodaTherm 21
30 to 60 °C	Solar water heating, heat pumps, electronics cooling	RT35, RT42, RT50, SP29Eu, lauric acid, n-eicosane
60 to 120 °C	Solar collectors, waste heat recovery, process water	RT82, RT100, PlusICE A82, PlusICE S89, erythritol
Above 120 °C	Industrial process heat, concentrated solar power	D-mannitol, $NaNO_3$, KNO_3, PlusICE H series

3. HEAT TRANSFER IN DOUBLE-PIPE LATENT HEAT STORAGE UNITS

3.1 Melting and Solidification Mechanisms

Melting and solidification in a double-pipe unit proceed through different heat transfer mechanisms. At the beginning of melting, heat is transferred by conduction through the thin liquid layer around the inner tube. As the liquid layer thickens, natural convection develops: the liquid adjacent to the hot tube wall becomes warmer and less dense due to thermal expansion and rises, while the cooler liquid near the solid–liquid interface descends. As a result, the PCM in the upper part of the annulus melts rapidly, whereas the solid PCM below the inner tube is reached mainly by conduction and remains solid for a long time. The final stage of melting is therefore conduction-limited and largely determines the total melting time. During solidification, a solid layer forms on the cold tube surface and its thermal resistance increases as it thickens; natural convection weakens rapidly, and the process remains conduction-dominated. Consequently, solidification is generally slower than melting under comparable conditions [5, 13].

These mechanisms are commonly described by the Stefan, Rayleigh and Fourier numbers:

$$Ste = c_p \, \Delta T / L \quad (1)$$

$$Ra = g \, \beta \, \Delta T \, H^3 / (\nu \, \alpha) \quad (2)$$

$$Fo = \alpha \, t / H^2 \quad (3)$$

where c_p is the specific heat, ΔT the temperature difference between the HTF and the phase change temperature, L the latent heat, g the gravitational acceleration, β the thermal expansion coefficient, H the characteristic length (usually the annular gap), ν the kinematic viscosity, α the thermal diffusivity and t the time. The Stefan number expresses the ratio of sensible to latent heat, the Rayleigh number the strength of natural convection and the Fourier number the dimensionless time of heat diffusion. Because Fo scales with $1/H^2$, halving the characteristic conduction length reduces the time required to reach the same Fourier number by a factor of four; this is the physical basis of conductive enhancement techniques. In numerical studies, the phase change is usually modelled by the enthalpy-porosity method [22, 23], and the liquid fraction is often presented as a function of the product Fo·Ste. The design implication is that melting is accelerated by strengthening conduction in the lower region of the annulus, whereas solidification requires conductive paths throughout the entire PCM volume.

3.2 Classification of Heat Transfer Enhancement Techniques

Following the classification used in the heat transfer enhancement literature [8], the techniques

applied to double-pipe PCM units can be grouped into passive, active and compound methods (Table 5). Passive techniques require no external power and act by extending the heat transfer surface, shortening the conduction path or modifying the flow; turbulators and vortex generators placed on the HTF side also belong to this group because they do not consume external power. Active techniques require external power and include mechanical aids such as rotation or flipping of the unit, vibration and ultrasonic excitation, and the application of electric or magnetic fields [24]. Compound techniques combine two or more methods simultaneously, either passive–passive or active–passive.

Table 5. Classification of heat transfer enhancement techniques for double-pipe PCM units

Group	Definition	Techniques
Passive	No external power required	PCM side: fins, metal foams and porous matrices, expanded graphite, nanoparticle addition, heat pipes, encapsulation. Geometry: eccentric inner tube, lobed, twisted, conical and helical tubes. HTF side: turbulators, vortex generators, twisted tapes
Active	External power required	Mechanical: rotation or flipping of the unit, stirring, surface scraping. Vibration: mechanical vibration, ultrasonic excitation. External fields: electrohydrodynamic and magnetic fields
Compound	Simultaneous use of two or more techniques	Passive + passive: fins + metal foam, fins + nanoparticles, eccentricity + metal foam. Active + passive: rotation + fins, vibration + fins, rotation + eccentricity

4. REVIEW METHODOLOGY

The review covers double-pipe and concentric single-tube (single-pass shell-and-tube) storage units in which the PCM is stored in the annulus between the inner and outer tubes. Studies in which microencapsulated PCM slurry is used as the working fluid were not included, since a flowing PCM represents a different research problem from a stationary storage medium. The findings were compiled from the abstracts of primary sources and from three comprehensive reviews covering heat exchanger constructions [10], finned tubes [11] and active enhancement techniques [24]. A total of 102 studies were evaluated. Each study was classified according to the PCM type and phase change temperature, the enhancement technique, the research method and the reported change in melting or solidification time. For the performance comparison, only results reported as a percentage change relative to a defined reference case were used; ratios such as "7.1 times shorter" were converted into percentage reductions. Since not all bibliographic information was available for every study, each distribution presented in Section 5 is given together with its own sample size (n).

Figure 3 shows the distribution of the studies by publication year and research method. Interest in the topic increased markedly after 2019 and reached its highest level in 2020–2022 with 13–18 studies per year; a large part of this increase consists of numerical studies on fin design. After 2023, geometry modification became the most frequently investigated technique. Approximately 75% of the studies for which the research method is known are purely numerical, while experimental and combined experimental–numerical studies account for 11 studies each.

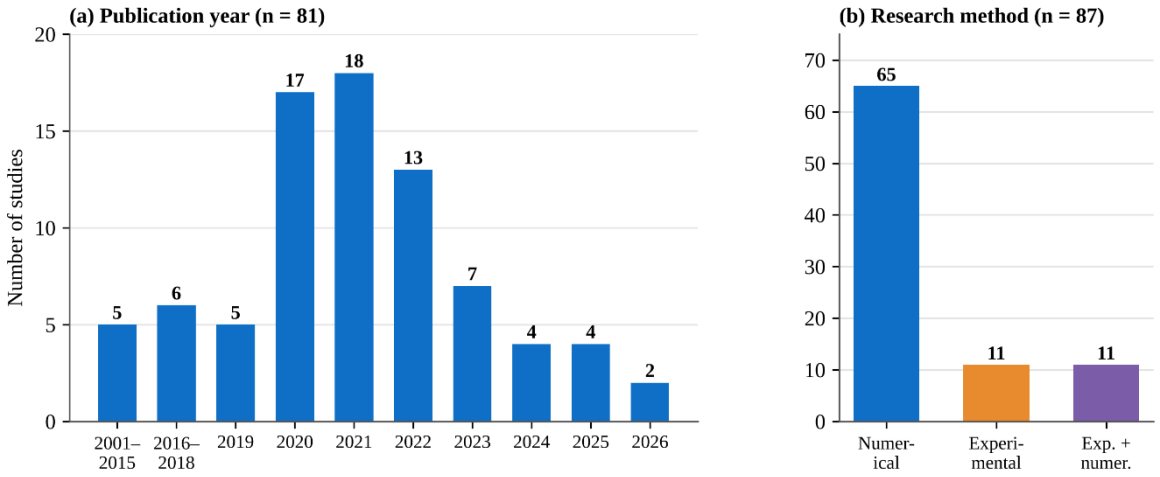


Figure 3. Distribution of the reviewed studies by (a) publication year and (b) research method

Table 6 summarizes representative studies that report quantitative results for different enhancement techniques. The comparison already indicates that fins and heat pipes yield large reductions in melting time, whereas the effect of nanoparticles is limited and the gains obtained experimentally with rotation are considerably smaller than those predicted numerically.

Table 6. Representative studies with quantitative results

Study	PCM	Method	Enhancement	Main finding
Yang et al. (2017) [25]	Paraffin	Numerical	Annular fins	Melting time reduced by 65%
Kazemi et al. (2018) [26]	RT35	Numerical	Longitudinal fin angle	Melting time reduced by 62% (two fins)
Ebrahimi et al. (2019) [27]	RT35	Numerical	Heat pipe	Melting time reduced by 91%
Pu et al. (2020), [11]	RT35	Numerical	Annular fins with decreasing pitch	Melting time reduced by 49.9%
Karami and Kamkari (2020) [28]	Lauric acid	Experimental	Perforated annular fins	Melting time reduced by 7%; Nu increased by 30%
Kumar and Verma (2020), cited in [11]	Lauric acid	Exp. + num.	Fins + eccentric tube	Heat storage rate increased by 18.7%
Tang et al. (2021), [11]	RT50	Numerical	Fins concentrated in the lower region	Melting time reduced by 83.9%
Huang and Liu (2021), [11]	Lauric acid	Numerical	Dendritic fins	Melting 34.5% and solidification 49.2% shorter
Ghalambaz et al. (2021) [29]	Capric acid	Numerical	Eccentric copper foam + nanoparticles	50% with foam; 13% with nanoparticles
Parsazadeh and Duan (2018) [30]	Paraffin wax	Numerical	Al_2O_3 nanoparticles + fins	Natural convection weakened; charging prolonged
Yang et al. (2022), [24]	Paraffin	Experimental	Constant rotation / flipping	Melting 19.4% / 37.5% shorter
Modi et al. (2022) [31]	RT50	Numerical	Eccentricity + 180° rotation	Total cycle reduced from 16 h to 12.46 h

"Cited in" indicates that the result is quoted from the review given in brackets.

5. RESULTS AND DISCUSSION

5.1 PCM Selection Trends

Figure 4 shows the distribution of the PCMs used in the reviewed studies. Of the 77 studies in which the PCM type is reported, 68 (approximately 88%) use organic PCMs. RT-series commercial paraffins form the largest group with 27 studies, followed by paraffin wax and n-alkanes (23) and fatty acids, particularly lauric acid (15). Within the RT series, RT35 is the most frequently used material (10 studies), followed by RT82 (7) and RT50 (5). RT35 has been investigated with dimple-shaped and circular fins, Koch-snowflake cross-sections, new fin geometries, undulated PCM containers, hemispherical turbulators and coil configurations [19, 26, 27], whereas RT82 has mostly been combined with nanoparticles, lobed tubes and Al_2O_3 nanoparticles with copper fins [32–34]. The frequent use of RT35 does not indicate superiority over other PCMs; rather, it shows that RT35 has become a practical reference material for evaluating geometry and enhancement effects in low-temperature storage.

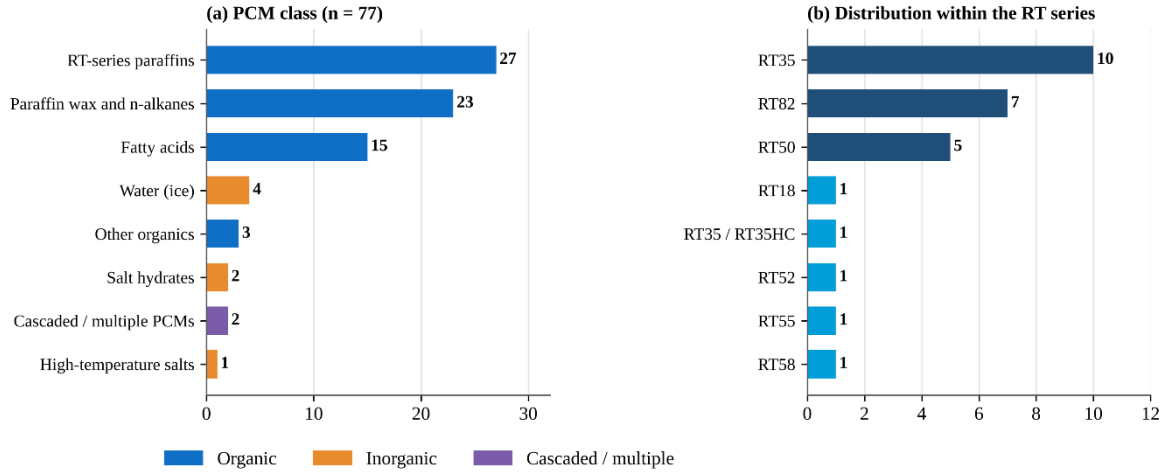


Figure 4. Distribution of the PCMs used in the reviewed studies: (a) by PCM class and (b) within the RT series

Inorganic PCMs are notably under-represented. Salt hydrates appear in only two studies, namely TH29 and sodium acetate trihydrate, and commercial salt hydrates such as the Rubitherm SP series have practically not been investigated in double-pipe units, although their thermal conductivity is about three times that of paraffins (Figure 2). The reasons are likely related to supercooling, phase segregation and corrosion, which complicate both experiments and numerical modelling.

Figure 5 presents the distribution of the phase change temperatures of the PCMs used. Of the 57 studies with a defined phase change temperature, 30 lie in the 25–45 °C range, which is determined mainly by RT35, lauric acid and n-eicosane and corresponds to low-temperature solar water heating and building applications. In the 66–100 °C range, RT82 is predominantly used [32, 33], whereas RT18 represents the low-temperature building applications below 25 °C [16]. Only three studies (erythritol, D-mannitol and $NaNO_3$) address phase change temperatures above 100 °C, which indicates an important research gap for industrial waste heat and medium-temperature solar applications.

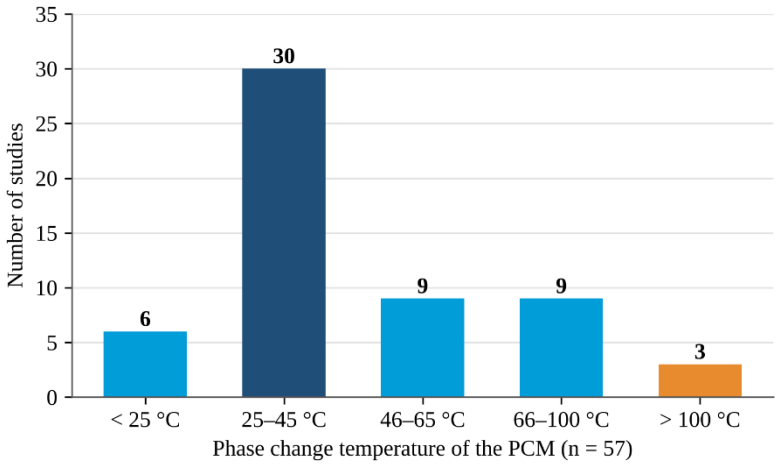


Figure 5. Distribution of the phase change temperatures of the PCMs used in the reviewed studies

5.2 Distribution of Enhancement Techniques

The distribution of the enhancement techniques is shown in Figure 6. Passive techniques alone are used in 77 of the 102 studies (75%). Fins are by far the most frequently studied technique (48 studies), followed by geometry modification (24). Compound techniques are used in 17 studies and active techniques alone in only 8. HTF-side enhancement with turbulators or vortex generators has hardly been addressed [18, 19], although part of the total thermal resistance of a double-pipe unit arises from the convective resistance on the HTF side, particularly at low HTF flow rates.

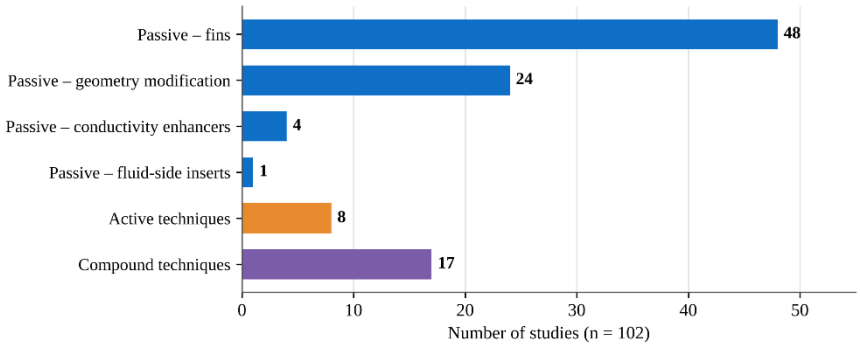


Figure 6. Distribution of the reviewed studies by enhancement technique (each study counted once according to its main technique; studies combining several techniques are grouped as compound)

5.3 Passive Techniques: Fins

The reported reductions in melting time obtained with fins are compared in Figure 7. Two reference cases must be distinguished. Relative to the unfinned unit, adding fins reduces the melting time by 59–65%: 65% for annular fins [25], 62% for two longitudinal fins at the optimum angle [26] and 59.2% for fins placed in the lower region (Deng et al., as reviewed in [10]). Relative to a reference fin design, improving the fin geometry provides an additional gain of 4–84%. The largest additional gains are obtained when the fins are concentrated in the lower region of the annulus, where natural convection is weak: 83.9% for Tang et al. and 54.1% for Li et al., while a decreasing fin pitch from top to bottom yields 49.9% (Pu et al.) (as reviewed in [11]). Dendritic fins reduce the melting time by 26.7–34.5% compared with rectangular fins of the same volume [11]. Y-shaped fins, in contrast, provide only 4.4% in melting but 66.2% in solidification compared with straight fins [10], and perforated fins reduce the melting time

by 7% while increasing the average Nusselt number by about 30% [28]. These results confirm that fin performance depends not only on the added surface but on the location of the fins relative to the natural convection pattern.

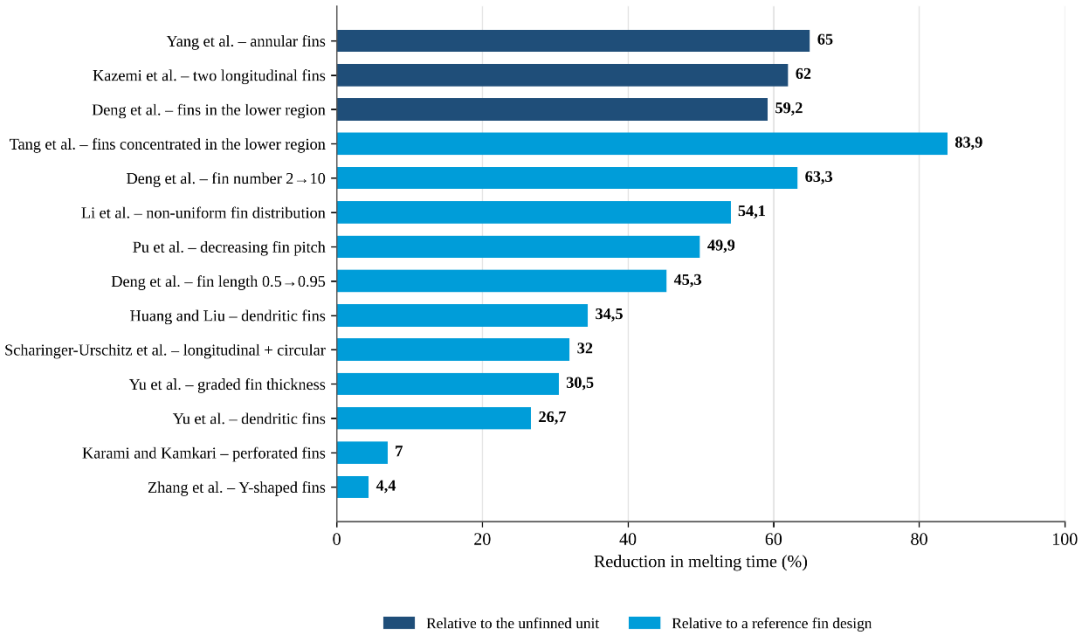


Figure 7. Reduction in melting time reported for fins (dark blue: relative to the unfinned unit; light blue: relative to a reference fin design)

5.4 Passive Techniques: Geometry Modification

Geometry modifications change the shape, orientation or relative position of the heat transfer surfaces without adding material to the PCM (Figure 8). The largest effect is obtained by shifting the inner tube downward: an eccentric inner tube shortens the melting time by up to 7.1 times (85.9%) compared with the concentric arrangement (Kadivar et al., as reviewed in [10]). Moving the heat source downward places a larger proportion of the PCM above the tube, where the rising warm liquid sweeps the entire upper region, while the thin layer below the tube melts quickly owing to the short conduction distance [35, 36]. The same configuration, however, prolongs solidification, because the thick PCM layer remaining above the tube increases the conduction distance; consequently, the concentric arrangement can give the shortest complete cycle [10]. In agreement with this, Zheng et al. [37] found that the optimum eccentricity for melting depends linearly on the Rayleigh number and that eccentricity reduces the total melting–solidification time only when the Rayleigh number ratio of solidification to melting exceeds 2.0, and Mase et al. [14] showed that the bottom position is optimal for melting at $Ra > 10^5$ while the central position is preferred for solidification and cyclic storage. Helical coils (25.7–60%), conical shells (12–17%), elliptical inner tubes (11.6%) and changes in orientation or inclination (4–28%) provide moderate gains [10]. Lobed and twisted double-pipe geometries have also been proposed to enlarge the heat transfer surface [33, 38].

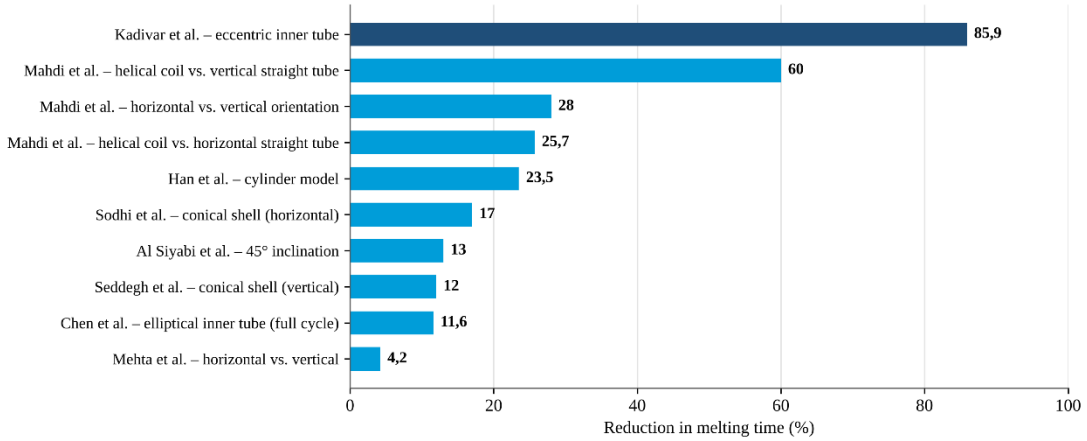


Figure 8. Reduction in melting time reported for geometry modifications (each comparison relative to the reference indicated in the label)

5.5 Passive Techniques: Conductivity Enhancers

Heat pipes and metal foams create high-conductivity paths within the PCM and reduce the melting time by 40–91% (Figure 9). A heat pipe placed around a single HTF tube reduced the melting time of RT35 by up to 91% [27], and increasing the number of heat pipes from one to four reduced the melting time by 40–83% and the solidification time by 43–96% (Mahdavi et al., as reviewed in [10]). These gains, however, involve a capacity trade-off: with four heat pipes, the stored heat decreased by 14% because the conductive structures occupy part of the PCM volume. An experimental study showed that a hybrid fin–metal foam tube shortens the complete melting time by 83.35% compared with a bare tube [39], and an eccentric copper foam layer halved the melting time of capric acid [29]. Expanded graphite composites have also been used to increase the effective conductivity of paraffin in shell-tube units [40].

The effect of nanoparticles is considerably smaller. An 8 vol.% addition of copper or graphene oxide nanoparticles reduced the melting time by only 13% [29], and in a finned shell-and-tube unit, Al_2O_3 nanoparticles even prolonged charging because the increased viscosity weakened natural convection in the molten PCM [30]. In addition, dispersion stability, agglomeration, sedimentation, cost and the reproducibility of thermophysical properties must be considered for nano-enhanced PCMs [32, 34].

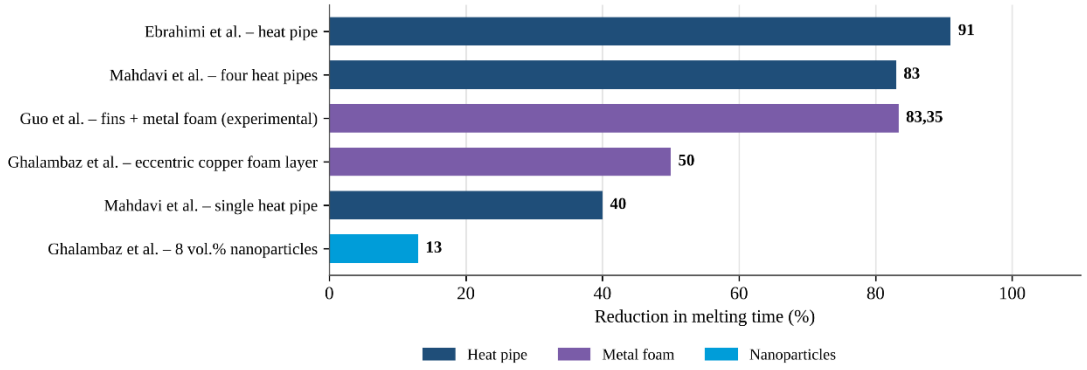


Figure 9. Reduction in melting time reported for heat pipes, metal foams and nanoparticles

5.6 Active and Compound Techniques

The results for active and compound techniques are shown in Figure 10. When only rotation is applied, numerical studies report reductions in melting time of 15.5–47%, namely 15.5% for stepwise rotation and 47% for rotation at 16 rpm, whereas experimental studies report 19.4% for constant rotation and 37.5% for 180° flipping of the unit (as reviewed in [24]). In another

experimental study, no significant difference in melting time was observed at rotation speeds of 3–9 rpm [24]. Higher values of 72–75% are obtained only when rotation or vibration is combined with fins [24, 41], so that a large part of the gain in these compound configurations originates from the fins. Ultrasonic excitation has been proposed for horizontal and vertical double-pipe units [42], and vibration at 10 Hz reduced the melting time from 134.3 to 35.1 min in a numerical study [24].

The difference between numerical and experimental results for rotation can be attributed to several factors. In the enthalpy-porosity model, the solid phase is fixed, whereas in a rotating unit the solid PCM may slide, detach from the tube or sink. The mushy zone constant, which controls the damping of natural convection, is frequently chosen without experimental calibration. Furthermore, constant properties, the absence of volume expansion and air gaps, two-dimensional models with idealized wall boundary conditions and perfect thermal contact are commonly assumed. On the experimental side, heat losses, sensor intrusion and the narrower range of tested rotation speeds limit the observed gains. Finally, the power consumed by active techniques is rarely included in a net efficiency assessment.

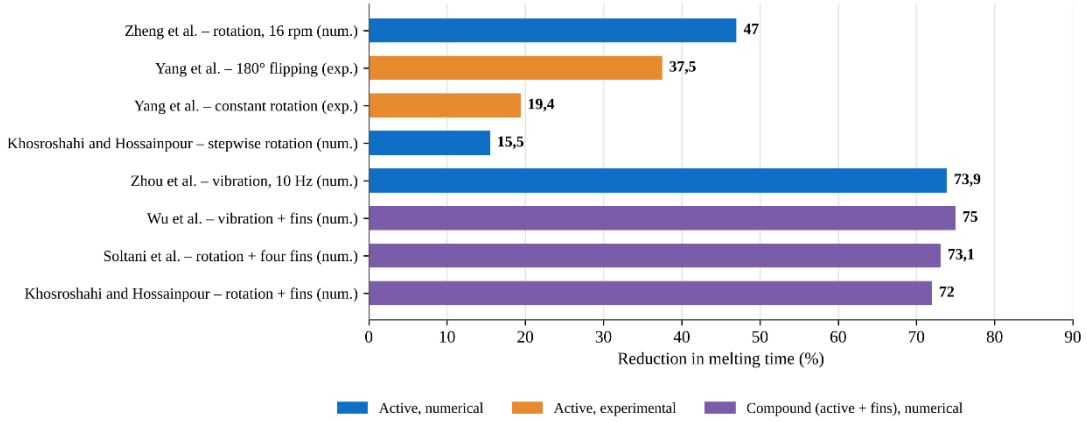


Figure 10. Reduction in melting time reported for active and compound techniques

5.7 Melting and Solidification Behaviour

Figure 11 summarizes the reported reductions in solidification time. Because solidification is conduction-dominated, techniques that create conductive paths provide larger gains during discharging than during charging. Snowflake and straight fins accelerate solidification by 7.8 and 4.5 times (87.2% and 77.8%), compartmented fins reduce it by 71.2% and Y-shaped fins by 66.2% (as reviewed in [10, 11]). Heat pipes are particularly effective: with four heat pipes, the solidification time is reduced by 96%, compared with 83% for melting [10]. Each additional conductive element acts as an additional cold surface inside the PCM, so that solidification starts simultaneously from several surfaces and the conduction distance through the solid layer is shortened. Conversely, configurations that strengthen natural convection, such as downward eccentricity, accelerate melting but slow solidification. These findings show that a design optimized for melting time alone does not guarantee the performance of the complete charging–discharging cycle [14, 43].

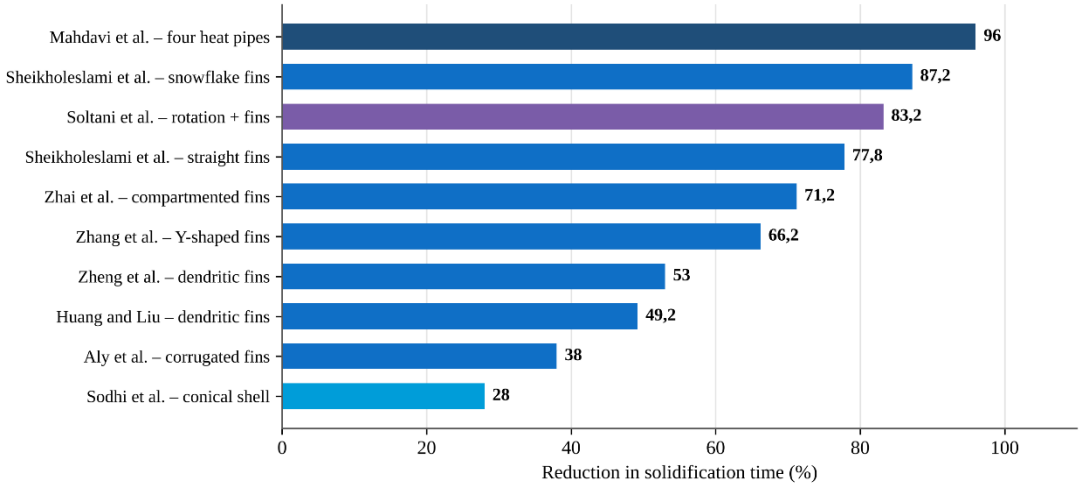


Figure 11. Reduction in solidification time reported for different enhancement techniques

5.8 Comparative Evaluation

Figure 12 compares the reported ranges of melting time reduction for the technique groups. Heat pipes, metal foams and fins provide the highest and most consistent gains, whereas the ranges for geometry modification and fin design are very wide because the result depends strongly on the selected reference case. Nanoparticle addition and experimentally investigated rotation show the lowest gains. Therefore, percentage values from different studies should not be compared directly without considering the reference case and the operating conditions: the same technique yields a high gain relative to an unfinned tube and a low gain relative to an already optimized reference. Comparisons should be made for equal PCM mass and equal operating conditions, and indicators such as stored and released energy, pressure drop, pumping power and material volume should be reported together with the melting time.

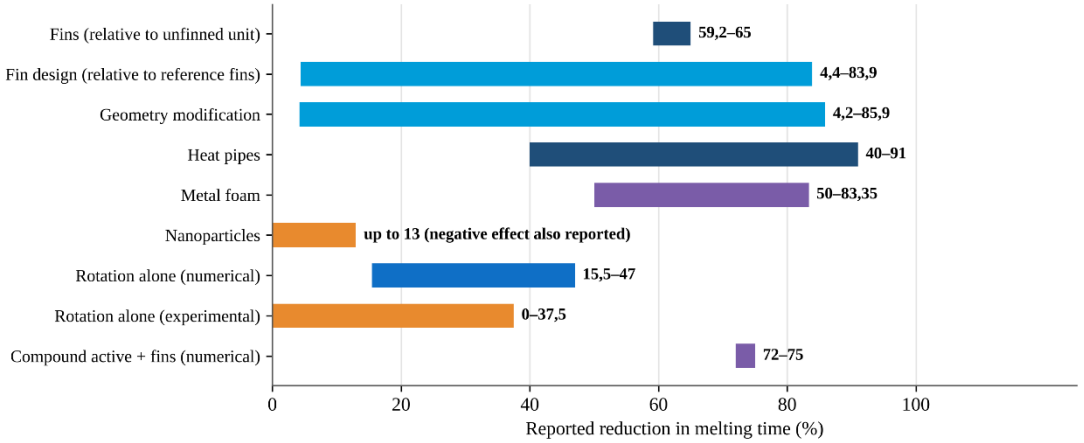


Figure 12. Reported ranges of melting time reduction for the technique groups

5.9 Research Gaps

The evaluation reveals four main research gaps. First, the literature is concentrated on organic, low-temperature PCMs; salt hydrates, such as the SP series, and PCMs above 100 °C have rarely been investigated in double-pipe units. Second, fins dominate the enhancement literature, while HTF-side and active techniques remain limited. Third, because results are reported relative to different references, their comparability is low, and standardized performance indicators based on equal PCM mass are needed. Fourth, approximately 75% of the studies are purely numerical, and experimental data under repeated charging–discharging cycles are insufficient; temperature-dependent properties, volume expansion, heat losses and contact

resistance should be considered in numerical models and validated experimentally.

6. CONCLUSIONS

In this study, PCM types and heat transfer enhancement techniques used in double-pipe latent heat thermal energy storage units were evaluated on the basis of the quantitative results reported in the literature. The main conclusions are as follows:

1. Organic PCMs are used in approximately 88% of the studies; RT35, RT82 and lauric acid stand out, and the phase change temperatures are largely concentrated in the 25–45 °C range. Salt hydrates and PCMs above 100 °C have rarely been investigated.
2. Adding fins reduces the melting time by 59–65% relative to the unfinned unit, and concentrating the fins in the lower region of the annulus provides the largest additional gains. Heat pipes and metal foams yield reductions of 40–91%, whereas the effect of nanoparticles is limited to 13% and may even be negative owing to weakened natural convection.
3. For rotation alone, numerical studies report improvements of 15–47% and experimental studies at most 37.5%; the higher values of 72–75% are obtained only in compound configurations with fins. The power consumption of active techniques should be included in a net efficiency assessment.
4. Conductive enhancement is more effective during solidification, whereas configurations that strengthen natural convection are more effective during melting. Downward eccentricity accelerates melting but slows solidification; therefore, designs should be based on the complete charging–discharging cycle.
5. Future studies should focus on salt hydrates and medium- and high-temperature PCMs, HTF-side enhancement, standardized comparison criteria based on equal PCM mass, and experimental validation under repeated cycling.

REFERENCES

1. Sharma, A., Tyagi, V. V., Chen, C. R., & Buddhi, D. (2009). Review on thermal energy storage with phase change materials and applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 13(2), 318–345.
2. Zalba, B., Marín, J. M., Cabeza, L. F., & Mehling, H. (2003). Review on thermal energy storage with phase change: Materials, heat transfer analysis and applications. Applied Thermal Engineering, 23(3), 251–283.
3. Ala, M., Şahin, M., Kılıç, M., & Dişken, G. (2025). An investigation on design criteria of heat exchangers by using tree models of machine learning methods. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 40(2), 375–386.
4. Abhat, A. (1983). Low temperature latent heat thermal energy storage: Heat storage materials. Solar Energy, 30(4), 313–332.
5. Agyenim, F., Hewitt, N., Eames, P., & Smyth, M. (2010). A review of materials, heat transfer and phase change problem formulation for latent heat thermal energy storage systems (LHTESS). Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14(2), 615–628.
6. Rubitherm GmbH. (2026). RT and SP product lists and RT35 technical data sheet. https://www.rubitherm.eu
7. PCM Products Ltd. (2021). PlusICE range. https://www.pcmproducts.net
8. Webb, R. L., & Kim, N. H. (2005). Principles of enhanced heat transfer (2nd ed.). Taylor & Francis.
9. Ala, M., Şahin, M., & Kılıç, M. (2024). Experimental investigation of the effect of different parameters on plate and frame heat exchanger effectiveness. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 39(4), 951–959.
10. Radomska, E., Mika, L., Sztekler, K., & Lis, L. (2020). The impact of heat exchangers' constructions on the melting and solidification time of phase change materials. Energies, 13(18), 4840.
11. Ma, F., Zhu, T., Zhang, Y., Lu, X., Zhang, W., & Ma, F. (2023). A review on heat transfer enhancement of phase change materials using fin tubes. Energies, 16(1), 545.

12. Kılıç, M., & Şahin, M. (2023). Nanoakışkan hacimsel oranının ve parçacık boyutunun gövde borulu ısı değiştiricisindeki ısı transferine etkisinin deneysel ve sayısal incelenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(2), 531–543.
13. Nicholls, R. A., Moghimi, M. A., & Griffiths, A. L. (2022). Impact of fin type and orientation on performance of phase change material-based double pipe thermal energy storage. Journal of Energy Storage, 50, 104671.
14. Mase, Y., Sucipto, Z. F., & Mobedi, M. (2024). A numerical study on control mechanism of heat transfer in a double pipe PCM heat exchanger by changing eccentricity. Energy, 291, 130266.
15. Güneş, T., Şahin, M., & Kılıç, M. (2023). Investigation of the effect of different parameters of phase change materials on heat exchanger performance. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(4), 1117–1128.
16. Paroutoglou, E., Fojan, P., Gurevich, L., Furbo, S., Fan, J., Medrano, M., & Afshari, A. (2022). A numerical parametric study of a double-pipe LHTES unit with PCM encapsulated in the annular space. Sustainability, 14(20), 13317.
17. Kilic, M., Sahin, M., & Abdulvahitoglu, A. (2024). A new approach for enhancing the effectiveness of a regenerative heat exchanger by using organic and inorganic phase change material. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 149(22), 13081–13093.
18. Li, F., Abed, A. M., Naghdi, O., Nasajpour-Esfahani, N., Hamedi, S., Al Mashhadani, Z. I., Fazilati, M. A., Mohammed, B. M., Hadrawi, S. K., Smaisim, G. F., & Toghraie, D. (2022). The numerical investigation of the finned double-pipe phase change material heat storage system equipped with internal vortex generator. Journal of Energy Storage, 55, 105413.
19. Sahin, M., Kilic, M., & Karadag, M. A. (2025). Investigation of heat transfer enhancement using hemispherical turbulators in a double-pipe regenerative heat exchanger with phase change material. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 150(13), 10249–10265.
20. PureTemp LLC. (2026). PureTemp phase change materials. https://puretemp.com
21. AgroBioBase. (2018). CrodaTherm 21 PCM. https://agrobiobase.com/en/database/bioproducts/energy/crodatherm-21-pcm
22. Voller, V. R., & Prakash, C. (1987). A fixed grid numerical modelling methodology for convection-diffusion mushy region phase-change problems. International Journal of Heat and Mass Transfer, 30(8), 1709–1719.
23. Brent, A. D., Voller, V. R., & Reid, K. J. (1988). Enthalpy-porosity technique for modeling convection-diffusion phase change: Application to the melting of a pure metal. Numerical Heat Transfer, 13(3), 297–318.
24. Shank, K., & Tiari, S. (2023). A review on active heat transfer enhancement techniques within latent heat thermal energy storage systems. Energies, 16(10), 4165.
25. Yang, X., Lu, Z., Bai, Q., Zhang, Q., Jin, L., & Yan, J. (2017). Thermal performance of a shell-and-tube latent heat thermal energy storage unit: Role of annular fins. Applied Energy, 202, 558–570.
26. Kazemi, M., Hosseini, M. J., Ranjbar, A. A., & Bahrampoury, R. (2018). Improvement of longitudinal fins configuration in latent heat storage systems. Renewable Energy, 116, 447–457.
27. Ebrahimi, A., Hosseini, M. J., Ranjbar, A. A., Rahimi, M., & Bahrampoury, R. (2019). Melting process investigation of phase change materials in a shell and tube heat exchanger enhanced with heat pipe. Renewable Energy, 138, 378–394.
28. Karami, R., & Kamkari, B. (2020). Experimental investigation of the effect of perforated fins on thermal performance enhancement of vertical shell and tube latent heat energy storage systems. Energy Conversion and Management, 210, 112679.
29. Ghalambaz, M., Mehryan, S. A. M., Ayoubi Ayoubloo, K., Hajjar, A., El Kadri, M., Younis, O., Saffari Pour, M., & Hulme-Smith, C. (2021). Thermal energy storage and heat transfer of nano-enhanced phase change material (NePCM) in a shell and tube thermal energy storage (TES) unit with a partial layer of eccentric copper foam. Molecules, 26(5), 1491.
30. Parsazadeh, M., & Duan, X. (2018). Numerical study on the effects of fins and nanoparticles in a shell and tube phase change thermal energy storage unit. Applied Energy, 216, 142–156.
31. Modi, N., Wang, X., & Negnevitsky, M. (2022). Melting and solidification characteristics of a semi-

rotational eccentric tube horizontal latent heat thermal energy storage. Applied Thermal Engineering, 214, 118812.
32. Motevali, A., Hasandust Rostami, M., Najafi, G., & Yan, W.-M. (2021). Evaluation and improvement of PCM melting in double tube heat exchangers using different combinations of nanoparticles and PCM (the case of renewable energy systems). Sustainability, 13(19), 10675.
33. NematpourKeshteli, A., Iasiello, M., Langella, G., & Bianco, N. (2023). Thermal enhancement techniques for a lobed-double pipe PCM thermal storage system. Applied Thermal Engineering, 233, 121139.
34. Kareem, J. S. A., Hatami, M., Kianifar, A., & Hamzah, H. K. (2025). Fins arrangements and Al_2O_3 nanoparticles concentrations effects on melting time of RT82 paraffin PCM in double-pipe heat exchanger. Engineering Reports, 7(9), e70381.
35. Yazici, M. Y., Avci, M., Aydin, O., & Akgun, M. (2014). Effect of eccentricity on melting behavior of paraffin in a horizontal tube-in-shell storage unit: An experimental study. Solar Energy, 101, 291–298.
36. Pahamli, Y., Hosseini, M. J., Ranjbar, A. A., & Bahrampoury, R. (2016). Analysis of the effect of eccentricity and operational parameters in PCM-filled single-pass shell and tube heat exchangers. Renewable Energy, 97, 344–357.
37. Zheng, Z. J., Xu, Y., & Li, M. J. (2018). Eccentricity optimization of a horizontal shell-and-tube latent-heat thermal energy storage unit based on melting and melting-solidifying performance. Applied Energy, 220, 447–454.
38. Fallah Najafabadi, M., Talebi Rostami, H., & Farhadi, M. (2021). Analysis of a twisted double-pipe heat exchanger with lobed cross-section as a novel heat storage unit for solar collectors using phase-change material. International Communications in Heat and Mass Transfer, 128, 105598.
39. Guo, J., Liu, Z., Du, Z., Yu, J., Yang, X., & Yan, J. (2021). Effect of fin-metal foam structure on thermal energy storage: An experimental study. Renewable Energy, 172, 57–70.
40. Xiao, X., & Zhang, P. (2015). Numerical and experimental study of heat transfer characteristics of a shell-tube latent heat storage system: Part I – Charging process. Energy, 79, 337–350.
41. Jaberi Khosroshahi, A., & Hossainpour, S. (2022). A numerical investigation on the finned storage rotation effect on the phase change material melting process of latent heat thermal energy storage system. Journal of Energy Storage, 55, 105461.
42. Rahmanian, S., Shahsavar, A., Rahmanian-Koushkaki, H., Setareh, M., & Arici, M. (2023). Numerical feasibility study of improving the melting performance of horizontal and vertical double-pipe latent heat storage systems using ultrasonic field. Journal of Energy Storage, 67, 107594.
43. Ben Khedher, N., Togun, H., Abed, A. M., Al-Najjar, H. M. T., Dulaimi, A., Mohammed, H. I., Mahdi, J. M., Yvaz, A., & Talebizadehsardari, P. (2023). Discharge performance assessment of a vertical double-pipe latent heat storage unit equipped with circular Y-shaped fins. Journal of Building Engineering, 75, 106870.

MİKROUYDULARDA KATI YAKITLI İTKİ VEKTÖR KONTROL SİSTEMLERİNİN İNCELENMESİ

Mahir ŞAHİN
Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Adana
ORCID: 0000-0002-9565-9160
Prof. Dr. Mustafa KILIÇ
Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, Adana
ORCID: 0000-0002-8006-149X

ÖZET
Küçük uyduların, özellikle CubeSat platformlarının kullanımındaki artış, kütle, hacim ve elektrik gücü bakımından sıkı kısıtlar altında çalışabilen itki sistemlerine duyulan ihtiyacı artırmıştır. Bir itki alt sistemi, yörünge değişikliklerinin ötesinde konum koruma, yönelim kontrolü, reaksiyon çarkı doygunluğunun giderilmesi, atmosferik sürüklenme telafisi, formasyon uçuşu ve görev sonu yörüngeden çıkarma işlevlerini destekleyebilir. Bu nedenle küçük uydu itkisi, yalnızca anlık itki kuvvetiyle değil, aynı zamanda güvenilirlik, kontrol edilebilirlik ve sistem düzeyinde entegrasyon açısından da değerlendirilmelidir. Bu çalışma, katı fazda depolanabilen ve kontrollü ısıtma ile gaz fazına dönüştürülebilen süblimleşebilir katı yakıtları, küçük uydu mikroitkisi uygulamalarındaki potansiyellerine odaklanarak incelemektedir. Özellikle naftalen esaslı bir soğuk gaz itki konsepti ile naftalen, adamantan, kafur ve borneolün radyo frekanslı (RF) elektrotermal plazma iticisinde kullanıldığı güncel bir deneysel çalışma ele alınmaktadır. Naftalen esaslı soğuk gaz iticisinin doğrudan itki ölçümlerinde yaklaşık 0,60 mN itki elde edilmiş ve bu değer 24,6 s özgül itkiye karşılık gelmiştir. RF elektrotermal yaklaşımda ise yaklaşık 45 W RF gücünde yaklaşık 1,1 mN toplam itki ve 37 s özgül itki bildirilmiştir. Literatür, süblimleşebilir katı yakıtların yüksek performanslı kimyasal veya elektrikli itki sistemlerinin yerine geçecek bir teknoloji olarak değil, düşük itki ve düşük toplam ΔV gerektiren görevlerde sistem mimarisini sadeleştirebilen tamamlayıcı bir teknoloji olarak değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir. Katı fazda depolama, yüksek basınçlı tanklara bağımlılığın azalması ve basit bir gaz besleme mimarisi önemli avantajlar sunarken; düşük özgül itki, termal kontrol gereksinimi, akış yolu içinde yeniden yoğuşma ve uzun süreli çalışmaya ilişkin belirsizlikler temel sınırlılıklar olarak öne çıkmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Küçük uydu, mikroitki, süblimleşme, naftalen, soğuk gaz iticisi, elektrotermal itki.

A REVIEW OF SOLID-PROPELLANT THRUST VECTOR CONTROL SYSTEMS FOR MICROSATELLITES

ABSTRACT
The increasing adoption of small satellites, particularly CubeSat platforms, has intensified the need for propulsion systems that operate within tight mass, volume, and electrical power constraints. Beyond orbit changes, a propulsion subsystem can support station keeping, attitude control, reaction wheel desaturation, drag compensation, formation flying, and end-of-mission deorbiting. Consequently, small-satellite propulsion must be evaluated not only by instantaneous thrust but also by reliability, controllability, and system-level integration. This

study reviews sublimable solid propellants that can be stored in the solid phase and converted into gas through controlled heating, focusing on their potential for small-satellite micropropulsion. In particular, it examines a naphthalene-based cold-gas propulsion concept and a recent experimental investigation of naphthalene, adamantane, camphor, and borneol in a radio-frequency (RF) electrothermal plasma thruster. Direct thrust measurements of the naphthalene-based cold-gas thruster reached approximately 0.60 mN, corresponding to a specific impulse of 24.6 s, whereas the RF electrothermal approach yielded approximately 1.1 mN of total thrust and a specific impulse of 37 s at an RF power of approximately 45 W. The literature indicates that sublimable solid propellants should be regarded not as replacements for high-performance chemical or electric propulsion systems, but as a complementary technology that can simplify system architecture for missions requiring low thrust and low total ΔV. Solid-phase storage, reduced dependence on high-pressure tanks, and a simple gas-feed architecture are important advantages, whereas low specific impulse, the need for thermal control, recondensation within the flow path, and uncertainty about long-duration operation remain key limitations.

Keywords: Small satellite, micropropulsion, sublimation, naphthalene, cold-gas thruster, electrothermal propulsion.

1. INTRODUCTION

Since the CubeSat standard was introduced as a low-cost platform for education and space experimentation [1], small satellites have evolved into a mainstream class of spacecraft used in academic, technology-demonstration, scientific, and commercial missions. Their standardized mechanical interfaces, relatively low development costs, and short development cycles allow mission-specific capabilities to be delivered at a fraction of the cost and schedule of conventional spacecraft [2, 3]. However, miniaturization also makes the design problem more demanding, because every subsystem must operate simultaneously with lower mass, smaller volume, and lower power consumption. The propulsion subsystem is particularly affected, as tanks, valves, feed lines, heaters, power electronics, nozzles, and control units must all be accommodated within the same constrained platform, creating a significant system-level integration challenge [4, 5].

The role of small-satellite propulsion is not limited to producing high thrust. Depending on the mission profile, very small and precise thrust levels may be required for attitude control, reaction wheel desaturation, or long-duration station keeping, whereas higher thrust may be needed for short orbital corrections and collision-avoidance maneuvers. In some missions, the primary objective of the propulsion system is to increase the available total ΔV, thereby extending spacecraft lifetime or enabling controlled deorbiting at the end of the mission. Consequently, propulsion-system selection should consider instantaneous thrust, specific impulse, total impulse, and ΔV together with power consumption, mass, volume, thermal requirements, safety, and operational complexity [4, 6, 7]. Such multi-parameter design problems are increasingly being addressed with data-driven tools; tree-based machine learning models, for example, have been used to derive design criteria for heat exchangers from several interacting operating parameters [8].

Thrust vector control in small satellites differs fundamentally from that in launch vehicles and large spacecraft. In large rocket engines, the thrust direction is typically steered by gimballed nozzles, jet vanes, or secondary injection [9]; the mass, volume, and power constraints of microsatellites make such mechanisms impractical for most platforms. Instead, the thrust vector and the resulting control torque are generally produced by selectively firing fixed microthrusters that are distributed across the spacecraft body and oriented in different directions [5, 10]. In this

architecture, the quality of thrust vector control depends largely on the characteristics of the individual microthruster unit: its thrust level, minimum impulse bit, repeatability, response time, and the simplicity of its storage and feed system. The investigation of solid-propellant microthruster units therefore corresponds to the investigation of the fundamental building block of thrust vector control in small satellites.

Current small-satellite propulsion technologies include cold-gas, chemical, electrothermal, electrostatic, electromagnetic, and hybrid approaches [5, 11, 12]. Chemical systems offer advantages in thrust and rapid maneuvering, whereas ion and Hall thrusters provide high specific impulse but generally operate at low thrust levels and with high power requirements [13–15]. Cold-gas systems are advantageous for attitude control and small maneuvers because of their simplicity, low power demand, and small minimum impulse bit. NASA's current small-spacecraft technology assessment likewise characterizes cold-gas systems as simple and mature technologies with limited total impulse, while noting that electrothermal systems can improve performance relative to cold gas through propellant heating [16].

Within this framework, sublimable materials that are stored in the solid phase and converted into gas through controlled heating represent an attractive intermediate solution. Solid-phase storage can reduce the need for a high-pressure gas tank and some complex fluid-management components. Because the propellant undergoes a phase change during operation, such a system has much in common with latent-heat thermal systems, in which the properties of the phase change material and the operating parameters strongly govern heat-transfer performance [17]. The concept is not merely theoretical: solid iodine, which is stored as a solid and sublimated to feed the thruster, has already been demonstrated in orbit with an RF gridded ion thruster on board a 12U CubeSat [18]. However, the main advantage of sublimation-based cold-gas and electrothermal concepts does not arise from intrinsically high performance, but from the simplification of the storage and feed architecture. Sublimable solid propellants should therefore be assessed primarily through the balance between mission requirements and system complexity rather than through maximum thrust alone [7, 11].

The focus of this study is the potential of naphthalene-based and related sublimation propulsion concepts for small-satellite systems. Naphthalene is one of the candidates that has been tested experimentally because it can be stored in the solid state and generates a useful vapour pressure at moderate temperatures. Controlling the vapour supply of such a propellant is essentially a heat-transfer design task in which operating and geometric parameters determine thermal effectiveness, as has also been shown experimentally for compact plate heat exchangers [19]. Tsifakis et al. [20] designed a CubeSat cold-gas thruster using naphthalene and performed direct thrust measurements. More recently, Lee et al. compared several solid organic candidates in cold-gas operation [21] and investigated naphthalene together with adamantane, camphor, and borneol in an RF electrothermal plasma thruster, demonstrating that sublimable solids can serve not only as cold-gas sources but also as feed materials for electric propulsion [22, 23].

A terminological distinction is also necessary. Naphthalene and adamantane are hydrocarbons, whereas camphor and borneol are oxygen-containing organic compounds. Although these materials have been discussed collectively under the heading of “solid hydrocarbons” [22], it is not chemically accurate to classify all of them as hydrocarbons. Accordingly, this study uses the more inclusive terms “sublimable solid propellants” and, where appropriate, “solid organic propellants”.

Since the thrust of a sublimation-based thruster is ultimately governed by heat transfer into the propellant and along the flow path, findings from experimental and numerical heat-transfer research are directly relevant to its design; studies on how the thermophysical properties of the working medium, such as nanoparticle volume fraction and particle size, affect heat transfer in

shell-and-tube heat exchangers illustrate the sensitivity of thermal performance to material properties [24]. The aim of this study is to review sublimable solid propellants as candidate microthruster technologies for small-satellite thrust vector and attitude control. The specific objectives are (i) to position the sublimation approach relative to established small-satellite propulsion classes, (ii) to summarize the operating principle and system architecture of sublimation-based thrusters, (iii) to evaluate the available experimental data for naphthalene and alternative solid propellants in cold-gas and RF electrothermal operation, and (iv) to identify the design considerations, limitations, and mission profiles that determine their practical applicability.

2. SMALL-SATELLITE PROPULSION AND DESIGN REQUIREMENTS

2.1 Performance Metrics

Thrust is related to the momentum transferred to the spacecraft per unit time and is particularly important for short-duration maneuvers. In the ideal rocket formulation, thrust is a function of the exhaust mass flow rate and the effective exhaust velocity [9]. In simplified form, $F \approx \dot{m}v_e$, indicating that, for a given exhaust velocity, a higher mass flow rate produces higher thrust. However, increasing the mass flow rate also accelerates propellant consumption; focusing solely on high thrust can therefore adversely affect mission duration and total ΔV capability.

Specific impulse (I_{sp}) characterizes how effectively a propulsion system uses its propellant and is defined through $F = \dot{m}g_0I_{sp}$, where g_0 is the standard gravitational acceleration. A higher I_{sp} allows the same total impulse to be achieved with a lower propellant mass, which is reflected in the rocket equation, $\Delta V = g_0I_{sp} \ln(m_0/m_f)$ [9]. On the other hand, high-I_{sp} electric propulsion systems generally operate at lower thrust and require longer firing times [13]. I_{sp} and thrust should therefore not be treated as a simple trade in favour of one parameter; they must be evaluated together with the mission time scale and the required ΔV [4, 16].

Total impulse is defined as the integral of the thrust F(t) over the operating time. A low-thrust system can provide a meaningful total momentum change if it operates for a sufficiently long duration, which is particularly relevant for station keeping and low-rate orbital maneuvers. For small-satellite propulsion, it is therefore appropriate to ask not only how quickly thrust is required, but also how much total ΔV is required and over what time scale.

The minimum impulse bit is a further key metric for reaction wheel desaturation and precision attitude control. A thruster that produces high thrust but cannot be operated reliably with small, repeatable impulses may be less suitable for these applications than a lower-thrust system capable of precise control. Thrust range, throttling capability, response time, and repeatability are therefore also components of small-satellite propulsion performance [10].

2.2 Thrust Vector and Attitude Control Architectures

In small satellites, attitude is commonly controlled by reaction wheels and magnetic torquers. Reaction wheels, however, accumulate angular momentum under persistent external disturbance torques such as solar radiation pressure, aerodynamic drag, and gravity-gradient effects, and eventually approach saturation. The stored momentum must then be removed by an external torque, a process referred to as momentum dumping or wheel desaturation [25]. Where magnetic torquers are insufficient, for example at higher altitudes or in non-favourable magnetic field geometries, small thrusters fired in short pulses provide this torque. The same thruster set can also be used to point the net thrust vector for translational maneuvers.

Since gimballed nozzles are impractical at this scale, the thrust vector of a microsatellite is controlled discretely by selecting which of several fixed thrusters are fired, and for how long [5]. Solid propellants have previously been explored for this purpose in the form of MEMS-based digital microthruster arrays, in which many single-use solid-propellant cells are

fabricated on a chip and ignited individually to deliver discrete impulse bits [26, 27]. Such arrays offer very simple, valveless operation but are inherently single-shot: each cell can be fired only once and the impulse of a cell cannot be throttled. Sublimable solid propellants offer a different route to solid-propellant thrust vector control. The propellant is stored as a solid, yet the thruster is restartable and its thrust can be adjusted continuously through the reservoir temperature, while impulse bits are defined by valve actuation. This combination of solid storage and repeatable, throttleable operation is the main motivation for considering sublimation-based microthrusters as building blocks of distributed thrust vector control systems.

2.3 Comparison of Cold-Gas, Chemical, and Electric Propulsion

In cold-gas propulsion, a stored gas, or a propellant that enters the gas phase under suitable conditions, is expanded through a nozzle to produce thrust. Because no chemical reaction is involved, the system architecture is relatively simple. In conventional cold-gas systems, however, storing the propellant in a pressurized tank imposes design burdens in terms of tank mass, volume, and pressure management. NASA's small-spacecraft assessment identifies low complexity and a small impulse bit as advantages of cold-gas systems while also noting their limited total impulse capability [16].

Chemical propulsion converts the chemical energy of the propellants into a hot, high-velocity gas flow and can therefore produce high thrust [9]. This capability is important for rapid orbital changes and large impulsive maneuvers. Nevertheless, propellant and oxidizer management, pressurization, combustion or catalytic decomposition hardware, thermal loads, and safety requirements can complicate integration on small platforms. Although chemical systems are advantageous in terms of performance, they may therefore not be the optimum solution for every CubeSat in terms of volume and safety [6, 7].

Electric propulsion systems use electrical energy to increase the thermal or kinetic energy of the exhaust. In electrothermal systems the gas is heated before expansion, whereas in ion and Hall thrusters ionized particles are accelerated by electric and magnetic fields [13, 14]. Because these approaches can reach high exhaust velocities, they provide high specific impulse. However, power generation, power-processing units, and the need for long firing durations impose significant constraints on small-satellite platforms [12, 15]. Current assessments also indicate that, despite their high total impulse potential, electric systems may require long operating periods because of their low thrust-to-power ratio [16, 28].

Sublimable solid propellants provide a distinct system architecture between these approaches. Instead of a high-pressure gas or a liquid, the propellant is stored as a solid, heated during operation to enter the gas phase, and then expelled through a nozzle, either directly as cold gas or after additional electrical heating. This can reduce some of the mechanical requirements associated with pressurized storage. In return, the gas-generation rate becomes governed by thermal control. In sublimation-based systems, thermal feed and flow-path design consequently become more important than conventional tank design. The general trends of the propulsion classes discussed above are summarized in Table 1.

Table 1. General comparison of small-satellite propulsion classes

Propulsion class	Basic operating principle	Thrust level	Specific impulse trend	Power requirement	Main advantage	Main limitation
Cold gas	Expansion of stored gas through a nozzle	Low–medium	Low	Low	Simplicity, fast response, small impulse bit	Low total impulse and specific impulse
Chemical	Hot gas from combustion or decomposition	Medium–high	Medium–high	Generally low–medium	High thrust and rapid maneuvering	Tank, safety, and fluid management
Ion	Electrostatic acceleration of ions	Low	High	High	Very high specific impulse	Low thrust, power processing
Hall	Electromagnetic acceleration of plasma	Low–medium	Medium–high	Medium–high	High total impulse capability	Power and system complexity
Electro-thermal	Electrical heating of the propellant, then nozzle expansion	Low–medium	Low–medium	Medium	Improved performance over cold gas	Power consumption, thermal management
Sublimation	Heating of a solid propellant to generate gas	Low	Low	Low–medium	Solid storage, simple feed architecture	Low specific impulse, thermal control, deposition

Note: The table presents general trends; actual values vary substantially with technology and design. Sources: [4, 6, 7, 12, 16, 20].

As Table 1 shows, there is no single “best” technology among the propulsion classes. Electric systems capable of high specific impulse may not suit every mission because of their low thrust and high power requirements. Conversely, cold-gas and sublimation-based systems offer lower performance but can be preferable for specific missions because of their simplicity and low power demand. The value of the sublimation approach therefore lies less in competing directly with high-performance systems and more in providing a mission-oriented solution that respects the resource constraints of small spacecraft [6, 16].

3. OPERATING PRINCIPLE OF SUBLIMABLE SOLID PROPELLANTS

3.1 Sublimation and Vapour Pressure

Sublimation is the transition of a substance directly from the solid phase to the gas phase without passing through the liquid phase. Because the vapour pressure of a solid increases with temperature, a solid propellant heated within an appropriate temperature range can generate a usable gas flow. In a sublimation-based propulsion system, the primary energy input is the heat supplied to raise the temperature of the solid and to sustain the phase transition. When the generated gas is discharged in a controlled manner through a valve and nozzle, a momentum flux is produced and a reaction force acts on the spacecraft [16, 20].

Naphthalene is particularly attractive for this approach. Its chemical formula is $C_{10}H_8$, its molar mass is approximately 128.17 g/mol, and its melting point is approximately 80.2 °C [29]. Its ability to be stored as a solid and its steeply increasing vapour pressure with temperature, documented by classical measurements [30, 31], allow the gas-generation rate to be adjusted by controlling the reservoir temperature (Figure 1). In the experimental system of Tsifakis et

al. [20], the operating temperatures were kept below the melting point, and two-zone heating was used to reduce solidification of the gas within the flow path.

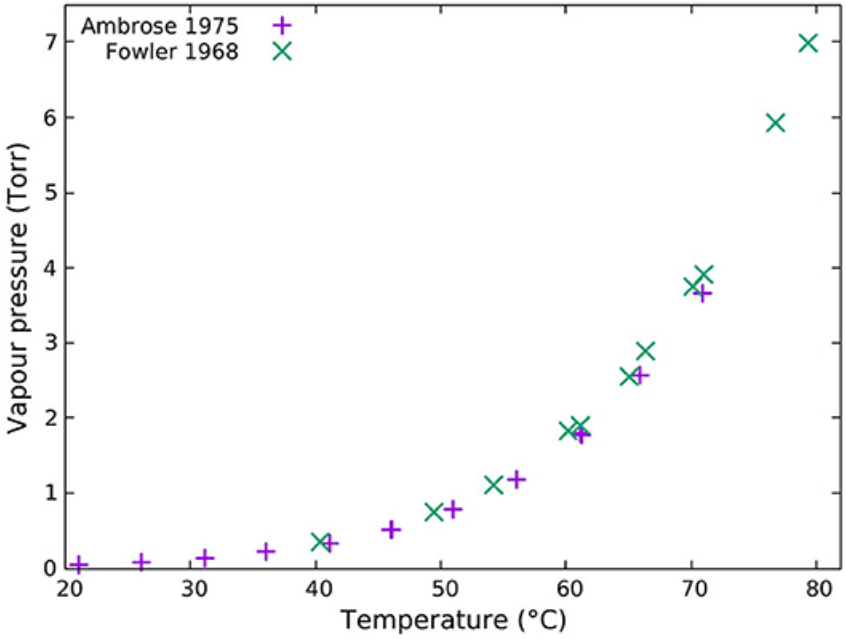


Figure 1. Variation of naphthalene vapour pressure with temperature, based on the data of Ambrose et al. and Fowler et al. (source: Tsifakis et al. [20])

The performance of a sublimation-based thruster depends not only on the properties of the propellant but also on the reservoir geometry, heat-transfer paths, exposed surface area, temperature distribution, valve characteristics, and nozzle geometry. Because the vapour pressure is highly temperature-sensitive, a change of only a few degrees can noticeably affect the mass flow rate. Temperature measurement and the control algorithm therefore become design subsystems as important as the mechanical feed system.

3.2 System Architecture

The main components of a naphthalene-based cold-gas thruster are the reservoir containing the solid propellant, resistive heaters, temperature sensors, a flow-control valve, the flow path, and the exhaust nozzle (Figure 2). The primary function of the reservoir is to contain a sufficient quantity of solid propellant safely and to generate gas in a controlled manner through heating. The heaters and sensors operate together to keep the reservoir within the desired temperature range throughout the mission, while the solenoid-actuated valve directs the generated gas to the nozzle only when commanded by the attitude and orbit control system.

The temperature of the flow path is particularly important. If the valve or feed line remains colder than the reservoir after gas is generated, part of the vapour may recondense or solidify. This can reduce the flow cross-section, decrease the mass flow rate, and degrade performance stability during long-duration operation. The two-zone heating approach of Tsifakis et al. [20] was therefore intended to control thermally not only the reservoir but also the region around the valve, which was kept warmer than the reservoir.

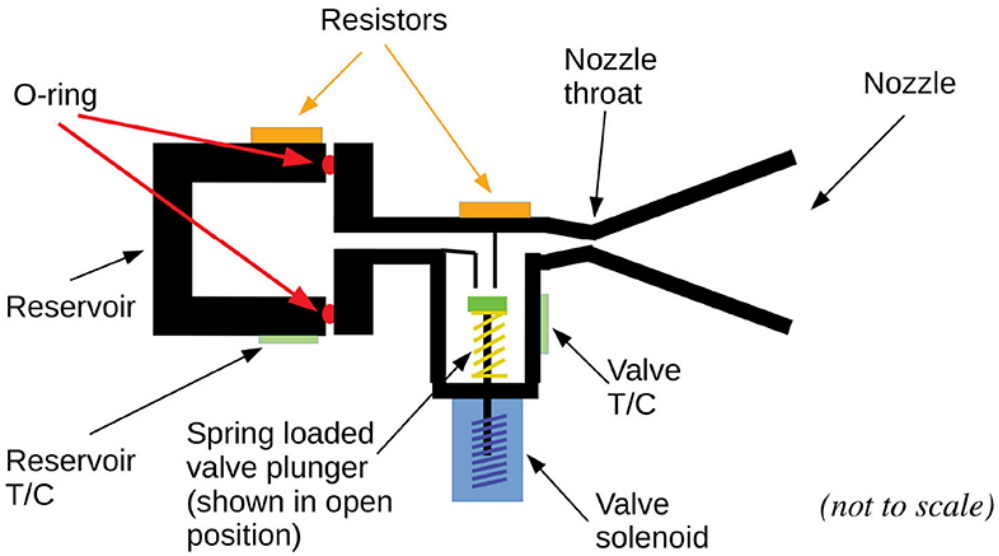


Figure 2. Main components of the naphthalene cold-gas thruster (source: Tsifakis et al. [20])

The nozzle is the final component, in which the thermodynamic energy of the gas is converted into directed kinetic energy. At the microscale, manufacturing tolerances, surface roughness, and the low-Reynolds-number flow regime can affect nozzle performance. Thus, although the sublimation system is mechanically simple, achieving good performance requires optimization not only of the heater design but also of the flow path and nozzle geometry [10, 20].

4. EXPERIMENTAL FINDINGS FOR THE NAPHTHALENE COLD-GAS THRUSTER

Tsifakis et al. [20] developed a CubeSat cold-gas thruster using naphthalene as the propellant and tested it with direct thrust measurements in the Wombat space simulation chamber (Figures 3 and 4). The thrust was measured with a high-sensitivity pendulum-type thrust balance whose displacement was read by a laser triangulation sensor. The objective was to demonstrate experimentally whether gas generated by heating solid naphthalene could produce measurable thrust when expanded through a small nozzle. Two-zone heating was used, with the reservoir and valve temperatures controlled separately, both to achieve a sufficient sublimation rate and to reduce premature solidification in the flow path.

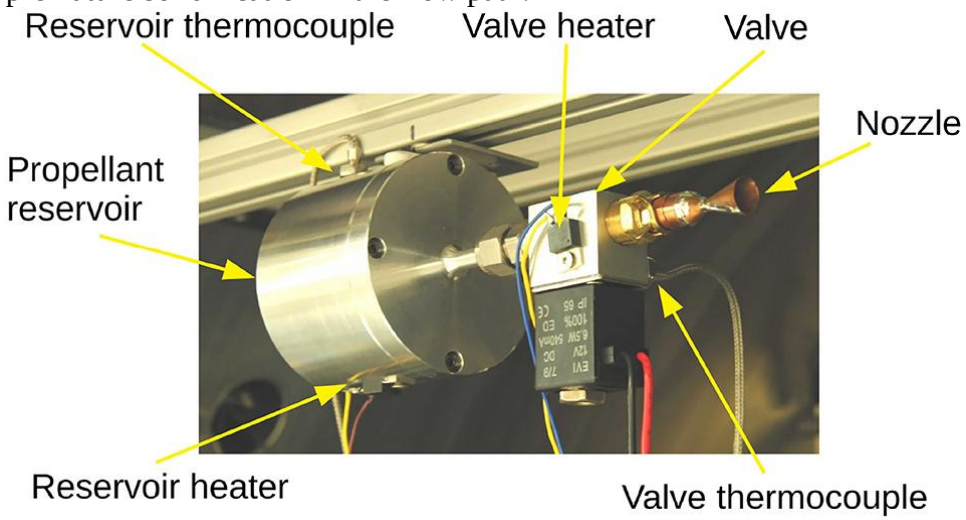


Figure 3. Naphthalene thruster prototype (source: Tsifakis et al. [20])

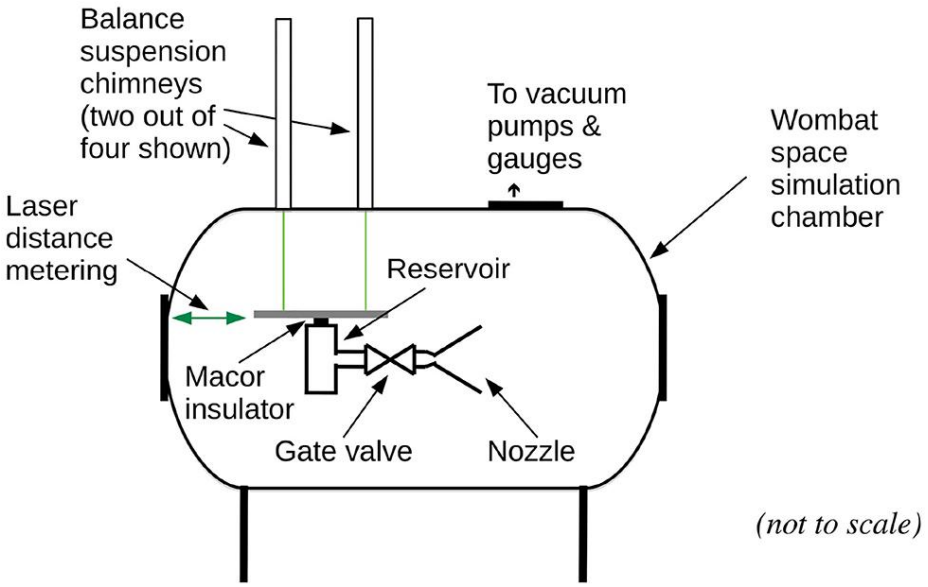


Figure 4. Measurement setup of the naphthalene cold-gas thruster in the space simulation chamber (source: Tsifakis et al. [20])

The measured performance at different reservoir and valve temperatures is listed in Table 2. Both the mass flow rate and the thrust increase markedly with reservoir temperature: thrust rises from 0.11 mN at a reservoir temperature of 50 °C to 0.60 mN at 70 °C. In contrast, the specific impulse increases from 20.7 s to 24.6 s and then remains approximately constant. This behaviour indicates that increasing the temperature primarily raises the vapour pressure, and hence the available mass flow rate, without increasing the exhaust velocity to the same extent [20].

Table 2. Measured/calculated performance of the naphthalene cold-gas thruster at different reservoir and valve temperatures (source: Tsifakis et al. [20])

T_r (°C)	T_v (°C)	Thrust, F (mN)	Mean $\dot{m}$ (mg/s)	I_{sp} (s)
50	65	0.11 ± 0.03	0.54	20.7
55	70	0.21 ± 0.03	0.95	22.5
60	75	0.29 ± 0.03	1.23	24.0
65	75	0.41 ± 0.04	1.70	24.6
70	75	0.60 ± 0.07	2.49	24.6

T_r: reservoir temperature; T_v: valve temperature; $\dot{m}$: mass flow rate; I_{sp}: specific impulse.

A further important result concerns endurance. In a run to exhaustion, a 10 g naphthalene charge sustained more than 330 twelve-second firings over a little more than 5.5 hours. An early run showed a decline in flow that was attributed to condensation at a cold spot, and the addition of multilayer insulation improved flow stability; thereafter no blockage was reported over tens of hours of laboratory operation [20]. These findings provide positive evidence that a sublimating solid propellant can be used reliably in the flow path when thermal management is adequate, but they also show how sensitive the system is to local cold spots. Laboratory operation does not reproduce all the thermal boundary conditions and environmental effects encountered in orbit; longer-duration cycling and different thermal scenarios should therefore be tested during pre-flight qualification.

The thrust of approximately 0.60 mN and specific impulse of 24.6 s do not place the naphthalene system in the high-thrust class. Nevertheless, these values are meaningful for precision attitude control, small orbital corrections, and certain station-keeping scenarios. The

measurements indicated a total impulse capability of at least 24 N·s per 100 g of propellant [20]. This result supports evaluating sublimation systems through a “long-duration, low-thrust” perspective rather than through high instantaneous thrust alone.

5. ALTERNATIVE SOLID PROPELLANTS AND RF ELECTROTHERMAL PROPULSION

5.1 Alternative Solids in Cold-Gas Operation

Investigating other sublimable solids is important because it enables propellant selection according to mission requirements without dependence on a single material. Lee et al. [21] experimentally compared five solid organic propellants—naphthalene, adamantane, camphor, borneol, and hexamine—in cold-gas operation. When the nozzle flow was choked, the thrust was comparable among the propellants and linearly proportional to the mass flow rate, while the specific impulse remained relatively constant across the mass flow range. The power consumption depended mainly on the heating temperature required to obtain the desired vapour pressure; hexamine required more power because of higher heat losses at its higher operating temperature. In that study, camphor was identified as the most promising overall candidate owing to its low power consumption, thrust generation, and mass efficiency, whereas naphthalene offered the best thrust-to-power ratio and the lowest cost per kilogram.

5.2 RF Electrothermal Operation

RF electrothermal plasma microthrusters heat a propellant gas by means of a capacitively or inductively coupled radio-frequency discharge before nozzle expansion. Earlier work on this thruster family showed that ion–neutral collisions in the discharge efficiently heat the neutral gas and thereby increase the exhaust velocity relative to cold-gas operation [32, 33]. Lee et al. [22] applied this concept to naphthalene, adamantane, camphor, and borneol in the same prototype RF electrothermal plasma thruster and compared their performance under both plasma-free (cold-gas) and RF-powered conditions.

Under cold-gas conditions, the solid propellants were reported to have lower exhaust velocities than argon because of their higher molecular masses, which results in lower thrust and specific impulse at the same mass flow rate. Under plasma operation, however, heating and dissociation of the molecular vapour by the RF field provided additional energy transfer. At approximately 45 W of RF power, the thrust of the solid propellants was nearly doubled, reaching a total of approximately 1.1 mN and a specific impulse of 37 s; of these values, approximately 0.6 mN and 20 s corresponded to the cold-gas contribution and approximately 0.5 mN and 17 s to the plasma contribution [22, 23]. These results demonstrate the feasibility of using sublimable solids as feed materials in electrothermal systems. The reported performance values of the sublimation-based concepts are compared with an iodine-fed RF gridded i
on thruster, which also stores its propellant as a sublimating solid, in Table 3.

Table 3. Reported performance of thrusters fed by sublimating solid propellants

Concept	Propellant	Thrust (mN)	I_{sp} (s)	Electrical power	Status
Cold-gas thruster [20]	Naphthalene	0.11–0.60	20.7–24.6	Heaters only	Laboratory, vacuum chamber
Cold-gas screening [21]	Naphthalene, adamantane, camphor, borneol, hexamine	Comparable among propellants	Approx. constant with $\dot{m}$	Heaters only	Laboratory, vacuum chamber
RF electrothermal plasma thruster [22]	Naphthalene, adamantane, camphor, borneol	≈ 1.1 (≈ 0.6 cold gas + ≈ 0.5 plasma)	≈ 37	≈ 45 W RF	Laboratory, vacuum chamber
RF gridded ion thruster [18]	Iodine	0.8 nominal, up to ≈ 1.3	Up to ≈ 2500	≈ 55–65 W	In-orbit demonstration (12U CubeSat, 2020)

These results have an important design implication. The naphthalene cold-gas thruster requires mainly thermal power to keep the propellant at temperature and the valve and flow path within suitable conditions, whereas the RF electrothermal system additionally requires a substantial electrical infrastructure for plasma generation and power transfer. While the RF approach provides higher performance, it also creates a more complex system in terms of power budget, electromagnetic compatibility, heat rejection, and power electronics. The iodine example in Table 3 shows that a sublimating solid can feed a very high-I_{sp} electric thruster in orbit, but at a power level that is comparable to or higher than that of the RF electrothermal concept and with a considerably more complex thruster [15, 18].

The work of Lee et al. [21, 22] also shows that propellant selection cannot be based solely on sublimation temperature. Melting point, vapour pressure, molecular mass, thermal conductivity, material compatibility, and decomposition processes occurring within the plasma must be evaluated together. Keeping the propellant below its melting point is particularly important to prevent the formation of a liquid phase within the system. Future designs should therefore jointly optimize material properties and thruster architecture.

6. DESIGN CONSIDERATIONS

6.1 Thermal Management and Heater Design

Thermal management is central to the operation of a sublimation-based propulsion system. Because the vapour pressure of the solid depends strongly on temperature, changes in reservoir temperature directly affect the gas-generation rate and, consequently, the thrust. The heater should therefore be designed not only to provide sufficient total power but also to maintain as uniform a temperature distribution as possible. The combined use of resistive heaters, temperature sensors, and feedback control can keep the reservoir within the target temperature range [20].

Because convective heat transfer is essentially absent in vacuum, conduction and radiation paths dominate the thermal design. Unnecessary heat leakage from the heater to the surrounding structure increases power consumption, whereas excessive insulation can trap heat and cause undesirable temperature rises in electronic or valve components. Insulation thickness, heater placement, reservoir material, and radiative surface properties should therefore be considered

together [16]. The experience with multilayer insulation in the naphthalene thruster illustrates that even a single local cold spot can be decisive for flow stability [20].

Temperature gradients between the reservoir and the nozzle must also be controlled. If the reservoir is hot while the valve region remains cold, the sublimating material may re-solidify within the flow path. Two-zone or multi-zone heating architectures provide an effective means of maintaining the gas phase along the flow path, and applying heat not only to the reservoir but also to critical flow components improves system reliability.

6.2 Power Consumption

In a naphthalene cold-gas thruster, the primary source of power consumption is maintaining the propellant at the temperature required for sublimation. Power consumption depends on the reservoir surface area, ambient temperature, insulation level, heater efficiency, and operating temperature; for most of the solids investigated, a few watts of heating were sufficient to control the mass flow [21, 23]. The heating power required to bring the system to its operating temperature may, however, differ substantially from the continuous power required during steady operation. The mission power budget should therefore account not only for nominal power but also for the warm-up transient and the duty cycle.

In an RF electrothermal system, the thermal power requirement is supplemented by the electrical infrastructure for RF power generation, impedance matching, and plasma formation. The approximately 1.1 mN total thrust reported at approximately 45 W of RF power [22] indicates that the performance increase comes at a significant power cost. Whether this power level is acceptable for a small satellite must be evaluated together with the solar-array capacity, battery state, and simultaneous power demands of other subsystems [12].

6.3 Storage, Material Compatibility, and Safety

Solid-phase storage is an important advantage because it can reduce the need for a high-pressure gas tank. However, storage should not be assessed solely in terms of tank pressure. Chemical compatibility with wetted surfaces, behaviour at elevated temperature, sublimation losses during ground storage and launch, sealing, and surface changes that may occur during long-term storage should also be considered. The small-satellite literature and NASA assessments emphasize that the integration of feed-system components can be as critical as the propellant itself [11, 16].

For naphthalene, chemical exposure risks during ground testing must also be addressed. PubChem data indicate potentially harmful health effects associated with naphthalene exposure [29]. Precautions such as an enclosed test setup, adequate ventilation, personal protective equipment, leak control, and waste management are therefore required. The fact that the space environment changes the operating conditions does not eliminate the toxicological and environmental risks associated with the material during ground handling and testing.

7. ADVANTAGES, LIMITATIONS, AND APPLICATION AREAS

7.1 Advantages

The most prominent advantage of sublimable solid propellants is that the propellant can be stored in the solid state. This can reduce the need for the high-pressure tank and associated pressure-management components required in conventional cold-gas systems. The fact that the solid phase can be contained mechanically with relative ease contributes to a simpler system architecture, particularly on small-volume spacecraft platforms [16, 20].

A second advantage is the possibility of keeping the number of components and moving parts low. A basic system may require only a reservoir, heater, temperature sensor, valve, and nozzle, which offers integration and control advantages compared with complex liquid-feed systems. In addition, gas generation through sublimation avoids the liquid-management and sloshing

issues encountered by liquid-propellant systems under microgravity conditions. Compared with single-shot solid-propellant microthruster arrays [26, 27], sublimation-based thrusters are restartable and throttleable, which makes them better suited to repeated attitude control and momentum-dumping maneuvers.

For naphthalene specifically, directly measured sub-millinewton thrust levels demonstrate practical potential for missions requiring precise control and for distributed thrust vector control architectures based on selectively fired microthrusters. The key advantage, however, should be stated as the ability to obtain a defined thrust level with low power consumption and low mechanical complexity, rather than “high performance” [20, 21].

7.2 Limitations

The first major limitation is low specific impulse. The approximately 24.6 s specific impulse of the naphthalene cold-gas thruster is far lower than the specific impulse typically associated with ion and Hall thrusters [13, 14]. This leads to higher propellant consumption for missions requiring high ΔV; sublimable solid propellants are therefore particularly relevant to low-ΔV missions [16, 20].

The second limitation is thermal dependence. Because the gas-generation rate is sensitive to temperature, small variations in heater control can translate into thrust fluctuations. Recondensation or solidification in the flow path during long-duration operation can also reduce the flow rate. Thermal control is therefore necessary not only to improve performance but also to ensure continuous operation of the system.

The third limitation is the power requirement and system complexity of the RF electrothermal approach. Although the performance increase reported by Lee et al. [22] is significant, approximately 45 W of RF power represents a non-negligible power budget for a small CubeSat. The suitability of an RF system consequently depends on the spacecraft's solar-array and battery capacity. Finally, none of the sublimating organic propellants discussed here has yet been demonstrated in orbit, so their technology readiness remains at the laboratory level.

7.3 Suitable Mission Profiles

Considering the literature as a whole, the missions for which sublimable solid propellants are the strongest candidates include precision attitude control, reaction wheel desaturation, small orbital corrections, station keeping, and missions with limited ΔV requirements. The simplicity of the system becomes more important when long-duration low-thrust operation is acceptable instead of rapid and large orbital changes. Similarly, if the total impulse required for controlled end-of-mission deorbiting is small, low system complexity may be preferable despite the lower I_{sp} [4, 16].

Conversely, chemical or higher-performance electric propulsion systems are more suitable for missions requiring high ΔV, high instantaneous thrust, or very rapid maneuvers [5, 28]. It is therefore more realistic to regard sublimable solid propellants not as a technology capable of meeting all mission requirements on its own, but as a modular micropropulsion option selected according to mission requirements.

8. DISCUSSION

The central message of the reviewed literature is that sublimable solid propellants are not universal alternatives to existing propulsion technologies. Their primary advantage arises from their potential to simplify propellant storage and feed architectures under the mass, volume, and power constraints of small spacecraft. The naphthalene study demonstrates that the approach is not merely theoretical: measurable thrust was obtained directly from a real prototype [20], and the cold-gas screening of further solids shows that several materials can deliver comparable thrust [21].

When comparing performance values, the operating regimes must be distinguished. The approximately 0.60 mN thrust and 24.6 s specific impulse of the naphthalene cold-gas system were obtained through sublimation and nozzle expansion alone. In the RF electrothermal study, approximately 1.1 mN and 37 s were reached at about 45 W, with roughly half of the thrust originating from the cold-gas contribution. Because the two sets of values were not obtained with the same thruster or under identical conditions, it would be inappropriate to conclude simply that “the RF system is twice as good.” The results should instead be interpreted as evidence that electrical heating and plasma operation can extract additional performance from the same class of solid propellants [20, 22].

Total impulse and ΔV capability are also important at mission level. A low-thrust system can provide a meaningful total impulse through long-duration operation, but long operating times increase the importance of secondary effects such as thermal stability, valve lifetime, surface deposition, and power consumption. The real advantage of sublimation propulsion will therefore depend not only on the maximum thrust demonstrated in an initial experiment, but also on the ability to sustain that performance reproducibly throughout the mission.

NASA's current small-spacecraft propulsion assessment emphasizes that performance data reported in the open literature are not always independently validated and that technology maturity can vary with mission conditions [16]. The maturation of sublimable solid propulsion therefore requires not only thrust-stand measurements but also thermal-vacuum testing, long-duration cycling, vibration and launch-environment testing, material-compatibility assessments, and, ultimately, in-flight demonstration. The successful in-orbit operation of an iodine-fed system [18] shows that propellants stored as sublimating solids can pass this qualification path.

Future research would also benefit from screening a broader range of materials and from system-level studies. Candidate selection should consider vapour pressure, melting and sublimation behaviour, density, molecular mass, thermal conductivity, surface compatibility, safety, and behaviour within a plasma environment. Such a multi-criteria approach can support the selection of different solid propellants for different mission profiles. From a thrust vector control perspective, studies are also needed on the arrangement of multiple sublimation thrusters around a spacecraft, on sharing a common heated reservoir between several valves and nozzles, and on the achievable minimum impulse bit and pointing accuracy.

9. CONCLUSIONS

In this study, the potential of sublimable solid propellants as microthruster technology for small-satellite thrust vector and attitude control was reviewed on the basis of the available literature, and the following conclusions were reached:

1. Sublimable solid propellants combine solid-phase storage with a relatively simple gas-feed architecture and therefore represent an attractive propulsion concept for small spacecraft. Their primary advantage is not high performance, but the potential to simplify propellant storage and fluid management on spacecraft with limited volume and mass. The technology should accordingly be considered mainly for missions requiring low thrust and low ΔV.
2. Naphthalene is the most thoroughly characterized candidate of this class. The naphthalene cold-gas thruster provided approximately 0.60 mN thrust and 24.6 s specific impulse, and a total impulse of at least 24 N·s per 100 g of propellant was indicated. Increasing the reservoir temperature increased the mass flow rate and thrust, while the specific impulse changed only slightly beyond a certain temperature, which shows that thermal control is a fundamental performance parameter of sublimation-based systems.

3. Alternative solids, including adamantane, camphor, borneol, and hexamine, provide thrust comparable to naphthalene in cold-gas operation, with camphor identified as the most promising overall candidate and naphthalene offering the best thrust-to-power ratio. In RF electrothermal operation, approximately 45 W of RF power nearly doubled the thrust of the solid propellants to approximately 1.1 mN, with a specific impulse of 37 s, at the cost of higher power and thermal-management requirements.
4. Unlike single-shot solid-propellant microthruster arrays, sublimation-based thrusters are restartable and throttleable while still storing their propellant as a solid. This makes them suitable building blocks for distributed thrust vector control architectures in which fixed microthrusters are fired selectively for precision attitude control, reaction wheel desaturation, small orbital corrections, station keeping, and controlled deorbiting.
5. Future work should focus on thermal-control accuracy, recondensation in the flow path, long-duration operation, material compatibility, reduction of power consumption, multi-thruster layouts for thrust vector control, and validation in the flight environment. Progress in these areas could make sublimable solid propellants a reliable, mission-oriented option within the small-satellite micropropulsion family.

REFERENCES

1. Heidt, H., Puig-Suari, J., Moore, A. S., Nakasuka, S., & Twiggs, R. J. (2000). CubeSat: A new generation of picosatellite for education and industry low-cost space experimentation. Proceedings of the 14th Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites, Logan, UT, USA.
2. Bouwmeester, J., & Guo, J. (2010). Survey of worldwide pico- and nanosatellite missions, distributions and subsystem technology. Acta Astronautica, 67(7–8), 854–862.
3. Poghosyan, A., & Golkar, A. (2017). CubeSat evolution: Analyzing CubeSat capabilities for conducting science missions. Progress in Aerospace Sciences, 88, 59–83.
4. Krejci, D., & Lozano, P. (2018). Space propulsion technology for small spacecraft. Proceedings of the IEEE, 106(3), 362–378.
5. Levchenko, I., Bazaka, K., Ding, Y., Raitses, Y., Mazouffre, S., Henning, T., Klar, P. J., Shinohara, S., Schein, J., Garrigues, L., Kim, M., Lev, D., Taccogna, F., Boswell, R. W., Charles, C., Koizumi, H., Shen, Y., Scharlemann, C., Keidar, M., & Xu, S. (2018). Space micropropulsion systems for Cubesats and small satellites: From proximate targets to furthermost frontiers. Applied Physics Reviews, 5(1), 011104.
6. Alnaqbi, S., Darfilal, D., & Swei, S. S. M. (2024). Propulsion technologies for CubeSats: Review. Aerospace, 11(7), 502.
7. Tummala, A. R., & Dutta, A. (2017). An overview of Cube-Satellite propulsion technologies and trends. Aerospace, 4(4), 58.
8. Ala, M., Şahin, M., Kılıç, M., & Dişken, G. (2025). An investigation on design criteria of heat exchangers by using tree models of machine learning methods. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 40(2), 375–386.
9. Sutton, G. P., & Biblarz, O. (2017). Rocket propulsion elements (9th ed.). John Wiley & Sons.
10. Silva, M. A. C., Guerrieri, D. C., Cervone, A., & Gill, E. (2018). A review of MEMS micropropulsion technologies for CubeSats and PocketQubes. Acta Astronautica, 143, 234–243.
11. Mueller, J., Hofer, R., & Ziemer, J. (2010). Survey of propulsion technologies applicable to CubeSats. 57th JANNAF Propulsion Meeting, NASA Technical Reports Server.
12. O'Reilly, D., Herdrich, G., & Kavanagh, D. F. (2021). Electric propulsion methods for small satellites: A review. Aerospace, 8(1), 22.
13. Goebel, D. M., & Katz, I. (2008). Fundamentals of electric propulsion: Ion and Hall thrusters. John Wiley & Sons.
14. Mazouffre, S. (2016). Electric propulsion for satellites and spacecraft: Established technologies and novel approaches. Plasma Sources Science and Technology, 25(3), 033002.
15. Holste, K., Dietz, P., Scharmann, S., Keil, K., Henning, T., Zschätzsch, D., et al. (2020). Ion thrusters

for electric propulsion: Scientific issues developing a niche technology into a game changer. Review of Scientific Instruments, 91(6), 061101.
16. National Aeronautics and Space Administration. (2026). State-of-the-art of small spacecraft technology: In-space propulsion. https://www.nasa.gov/smallsat-institute/sst-soa/in-space_propulsion/
17. Güneş, T., Şahin, M., & Kılıç, M. (2023). Investigation of the effect of different parameters of phase change materials on heat exchanger performance. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(4), 1117–1128.
18. Rafalskyi, D., Martínez Martínez, J., Habl, L., Zorzoli Rossi, E., Proynov, P., et al. (2021). In-orbit demonstration of an iodine electric propulsion system. Nature, 599(7885), 411–415.
19. Ala, M., Şahin, M., & Kılıç, M. (2024). Experimental investigation of the effect of different parameters on plate and frame heat exchanger effectiveness. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 39(4), 951–959.
20. Tsifakis, D., Charles, C., & Boswell, R. (2020). Naphthalene as a CubeSat cold gas thruster propellant. Frontiers in Physics, 8, 389.
21. Lee, T., Davoodianidalik, M., Tsifakis, D., Boswell, R. W., & Charles, C. (2025). Exploring potential candidates of alternative solid hydrocarbon propellants for cold-gas thrusters. Acta Astronautica, 226, 427–438.
22. Lee, T., Davoodianidalik, M., Tsifakis, D., Boswell, R. W., & Charles, C. (2025). Alternative solid hydrocarbons as propellants for electrothermal plasma radio-frequency thrusters. Scientific Reports, 15, 37852.
23. Lee, T. (2026). Alternative solid propellants for electrothermal plasma thrusters (Doctoral dissertation). The Australian National University, Canberra, Australia.
24. Kılıç, M., & Şahin, M. (2023). Nanoakışkan hacimsel oranının ve parçacık boyutunun gövde borulu ısı değiştiricisindeki ısı transferine etkisinin deneysel ve sayısal incelenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(2), 531–543.
25. Markley, F. L., & Crassidis, J. L. (2014). Fundamentals of spacecraft attitude determination and control. Springer.
26. Lewis, D. H., Janson, S. W., Cohen, R. B., & Antonsson, E. K. (2000). Digital micropropulsion. Sensors and Actuators A: Physical, 80(2), 143–154.
27. Rossi, C., Orieux, S., Larangot, B., Do Conto, T., & Estève, D. (2002). Design, fabrication and modeling of solid propellant microrocket—application to micropropulsion. Sensors and Actuators A: Physical, 99(1–2), 125–133.
28. Dale, E., Jorns, B., & Gallimore, A. (2020). Future directions for electric propulsion research. Aerospace, 7(9), 120.
29. National Center for Biotechnology Information. (2026). Naphthalene. PubChem. https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Naphthalene
30. Fowler, L., Trump, W. N., & Vogler, C. E. (1968). Vapor pressure of naphthalene: New measurements between 40° and 180 °C. Journal of Chemical & Engineering Data, 13(2), 209–210.
31. Ambrose, D., Lawrenson, I. J., & Sprake, C. H. S. (1975). The vapour pressure of naphthalene. The Journal of Chemical Thermodynamics, 7(12), 1173–1176.
32. Charles, C., & Boswell, R. W. (2012). Measurement and modelling of a radiofrequency micro-thruster. Plasma Sources Science and Technology, 21(2), 022002.
33. Greig, A., Charles, C., Hawkins, R., & Boswell, R. (2013). Direct measurement of neutral gas heating in a radio-frequency electrothermal plasma micro-thruster. Applied Physics Letters, 103(7), 074101.

FORENSIC GEOLOGY APPROACHES BASED ON SOIL ANALYSIS IN POST-DISASTER CRIME SCENE INVESTIGATIONS

İsmail Nurullah UTLİ
Dicle University, Institute of Natural and Applied Sciences, Department of Mining Engineering (General Geology), 21280 Sur, Diyarbakır, Türkiye
ORCID: 0009-0009-0290-316X
Prof. Dr. Orhan KAVAK
Dicle University, Faculty of Engineering, Department of Mining Engineering (General Geology), 21280 Sur, Diyarbakır, Türkiye
ORCID: 0000-0002-8068-3352

ABSTRACT
Large-scale natural disasters such as earthquakes, floods, landslides, mass movements, and wildfires not only alter land surface morphology substantially but also drastically transform the physical, mineralogical, and geochemical properties of the topsoil layer. During post-disaster dynamic processes, materials derived from distinct lithological and anthropogenic sources undergo significant transport, debris accumulation, fill mixing, and deposition. This dynamic blending poses substantial challenges in forensic crime scene investigations, establishing the chain of custody, and determining causal relationships. The discipline of forensic geology treats soil, sediment, rock, and mineral fragments as analytical physical evidence to resolve legal disputes in criminal and disaster investigations. The objective of this study is to provide a comprehensive evaluation of geological approaches based on soil analysis in post-disaster crime scene investigations, evidence integrity protocols, physical parameters, and advanced analytical techniques including X-ray Diffraction (XRD), X-ray Fluorescence (XRF), and Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) in light of scientific literature and historical casework. As emphasized in the national geological and forensic medicine literature (Atabey 2012; Gazioğlu et al. 2019), forensic soil analyses serve as key contact/transfer evidence for the geographic and stratigraphical provenance tracing of suspects, victims, or displaced objects. This review systematically addresses sampling strategies, natural soil versus debris differentiation, prevention of cross-contamination, and multi-analytical interpretation of findings, demonstrating the pivotal role of forensic geology in disaster criminalistics.
Keywords: *Forensic geology, post-disaster investigation, soil analysis, XRD, XRF, chain of custody, trace evidence*

1. INTRODUCTION
Large-scale natural disasters such as earthquakes, inundations/floods, landslides, and mass movements cause catastrophic destruction across both natural ecosystems and human settlements. During these dynamic phenomena, soil layers undergo rapid displacement, anthropogenic debris and backfill materials originating from collapsed structures intermingle with the native topsoil mantle, and sedimenttransport surges to extreme levels. In post-disaster judicial and administrative investigations—such as determining legal liabilities, uncovering structural failure etiologies, probing illegal excavation or sabotage allegations, and delineating the exact spatial locations and post-mortem transport dynamics of disaster casualties—geosciences have emerged as an indispensable domain of specialized expertise.
Forensic geology is a multidisciplinary discipline that applies the principles and methodologies of earth sciences (mineralogy, petrography, geomorphology, geochemistry, and geophysics) to resolve legal questions within forensic medicine, criminalistics, and criminal law (Sangwan et

al. 2020; MohdRosdi et al. 2024). From a forensic perspective, soil represents one of the Earth's most dynamic, complex, and diagnostic forms of 'transfer evidence' (or contact evidence). According to Edmond Locard's foundational Exchange Principle, every physical contact leaves a microscopic or macroscopic trace. In pioneering studies on forensic geosciences conducted in Türkiye (Atabey 2012; Gazioğlu et al. 2019; Kavak et al. 2024), the power of correlating soil and mineral particles collected from crime scenes or associated suspects/victims with regional bedrock lithology, geological unit contacts, and weathering profiles to construct irrefutable physical evidence has been strongly emphasized.

The objective of this study is to systematically examine geological approaches grounded in soil analysis within complex, anthropogenically contaminated post-disaster environments. It comprehensively evaluates standardized sampling protocols (ASTM International 2023), laboratory characterization methodologies, landmark historical casework, and statistical boundaries of uncertainty through the lens of contemporary scientific literature.

2. METHODOLOGY AND ANALYTICAL TECHNIQUES

2.1. Sampling Strategies and Evidence Integrity (Chain of Custody)

The evidentiary validity and scientific credibility of geological crime scene investigations in disaster areas strictly rely on the representativeness of the collected specimens and the unbroken maintenance of the chain of custody. The ASTM International standard (ASTM E3272-23; ASTM International 2023) establishes a rigorous, systematic protocol for the collection, preservation, and handling of soils and associated geological evidence for criminal forensic applications. Post-disaster soils are inherently heterogeneous; distinct vertical soil horizons and lateral spatial gradients are paramount. Consequently, formulating a sampling strategy requires comprehensive consideration of the judicial objectives, cadastral plot scale, soil profile diversity, and disaster-induced artificial disruptions (MohdRosdi et al. 2024).

To ensure uncompromising chain of custody in the field, each sample must be designated with a unique alphanumeric identifier. Precise geographic coordinates must be recorded via high-precision GPS, and metadata encompassing sampling depth, ground morphology, moisture state, prevailing weather parameters, and sampling tools must be meticulously documented on forensic logging forms. In disaster zones, the most vital protocol step is categorizing and sampling 'native topsoil mantle', 'structural collapse rubble', 'temporary fill', and 'hydro-meteorologically transported sediment' under strictly independent classification categories. To completely eliminate cross-contamination, sterile, single-use orthoroughly decontaminated stainless steel spatulas must be employed for each sampling point, and specimens must be enclosed in airtight, moisture-resistant, tamper-evident sealed packaging.

2.2. Physical and Morphological Characterizations

Physical and morphological attributes of soil represent the primary, non-destructive screening phase within forensic comparative frameworks:

- **Soil Color:** Systematically determined under standardized dry and moist conditions utilizing the Munsell Soil Color Charts. Soil color provides prompt, discriminating diagnostic insights regarding total organic carbon content, iron oxide mineralogy (e.g., hematite, goethite), and soil redox potentials.
- **Particle Size Distribution (Granulometry):** Assessed through dry/wet sieving and laser diffraction techniques across standard granulometric fractions: sand (2.0–0.063 mm), silt (0.063–0.002 mm), and clay (< 0.002 mm). This distribution signature mirrors the depositional environment and the kinetic energy of hydraulic or aeolian transport regimes.
- **Microscopy and Grain Morphology:** Conducted using polarized light microscopy (petrographic microscopy) and Scanning Electron Microscopy coupled with Energy

Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM-EDS). These techniques analyze grain roundness, sphericity, micro-surface textures, fracture propagation patterns, and xenobiotic anthropogenic particles (e.g., glass fibers, paint splinters, industrial slags, synthetic polymers).

2.3. Mineralogical Analyses: X-Ray Diffraction (XRD)

X-ray Diffraction (XRD) is widely recognized as the gold standard in forensic geology for qualitative phase identification and quantitative Rietveld phase refinement of crystalline minerals present in soil matrices (Ruffell and Wiltshire 2004). Primary rock-forming minerals (such as quartz, feldspars, calcite, and dolomite) as well as phyllosilicate clay mineral suites (including smectite, illite, kaolinite, and chlorite) are definitively resolved. However, a foundational doctrine in forensic geology dictates that identifying identical mineral assemblages or parageneses in two separate samples does not inherently prove origin from an identical spatial source point, as uniform geological formations frequently cover vast regional extents. Therefore, XRD data must be systematically integrated with elemental and trace geochemical distribution profiles.

2.4. Geochemical Analyses: XRF and ICP-OES / ICP-MS

X-ray Fluorescence Spectrometry (XRF) delivers rapid, non-destructive quantification of major rock-forming oxides (SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, MgO, Na_2O, K_2O) and predominant trace elements. Concurrently, Inductively Coupled Plasma Optical Emission / Mass Spectrometry (ICP-OES / ICP-MS) achieves ultra-trace sensitivity at microgram-per-kilogram (ppb to ppm) thresholds, accurately profiling Rare Earth Elements (REEs: La, Ce, Nd, etc.) and heavy metals. These multivariant geochemical signatures provide diagnostic fingerprinting that links soil to its parent lithology. However, because thermal degradation byproducts, industrial chemicals, or diffuse contaminants released during disaster catastrophes can alter local elemental concentrations, forensic conclusions must never rest upon an isolated elemental ratio.

3. DISASTER-SPECIFIC SOIL ALTERATIONS AND COMPARATIVE EVALUATION

3.1. Disaster-Induced Ground Alteration Mechanisms

Different natural disaster dynamics imprint highly specific forensic signatures, stratigraphical perturbations, and lithological admixtures onto the soil profile:

- **Earthquakes:** Soil liquefaction phenomena cause deep-seated, saturated sand-silt dikes and sand boils to violently erupt to the surface. Furthermore, building collapses introduce concrete aggregate, crushed brick dust, lime, gypsum plaster, and pulverized asbestos fibers into the native topsoil horizon, producing an artificial anthropogenic technosol stratum.
- **Floods and Inundations:** Extreme hydraulic shear stresses strip and scour the organic-rich surficial horizon, transporting and depositing allochthonous alluvium, sediments, and gravel from upstream lithological units onto the scene, establishing distinct micro-laminations and graded bedding.
- **Landslides and Mass Movements:** Shear failures along slip surfaces invert deep strata. Unweathered bedrock blocks, corestones, and primal clay horizons are thrust to the ground surface, disrupting and obliterating the natural pedological stratigraphy.
- **Wildfires:** Intense thermal radiation rapidly incinerates organic matter. Iron oxyhydroxides undergo severe thermal phase transformations (e.g., thermal conversion to magnetite or maghemite, substantially enhancing magnetic susceptibility), accompanied by the dense accumulation of mineral ash and pyrogenic carbon (charcoal).

3.2. Landmark Historical Casework in Forensic Geology

The decisive role of forensic geosciences in resolving criminal and judicial investigations has been demonstrated across milestone cases in criminalistic history (Atabey 2012):

1. The Margarethe Filbert Case (1908, Germany): Frankfurt chemist and geologist Georg Popp microscopically examined layered mud adhering to the suspect's shoes. The innermost layer contained goose-dropping-rich soil matching the suspect's home environment; the intermediate layer comprised red sandstone detritus unique to the secluded scene where the victim's body was discovered; and the outermost encrustation matched mortar and brick dust from the dilapidated structure where the murder weapon had been concealed. This micro-stratigraphical sequence irrefutably reconstructed the suspect's chronological itinerary on the day of the crime.

2. The Enrique Camarena Salazar Case (1985, Mexico): Following the abduction and homicide of a US Drug Enforcement Administration (DEA) special agent, the victim's body was discovered at El Mareno Ranch. However, FBI forensic geologist Ron Rawalt conducted detailed mineralogical analyses on soil scraped from the corpse and detected a specific rhyolitic volcanic ash and tuff mineral suite completely absent from El Mareno Ranch. This crucial geological discovery revealed that the victim had originally been buried in Guadalajara National Park and subsequently exhumed and transported to the ranch to fabricate the primary crime scene.

3. The Stanley Trial (1987, California, USA): A homicide victim was discovered in the vicinity of an oil drilling site. Forensic examiners compared gravel fragments recovered from the floor mat of the suspect's vehicle with lithological materials at the scene. It was revealed that the petroleum operatorhad imported a specialized, distinctive gravel blend from a quarry 300 miles south. The mineralogical and petrographic identity between the imported road gravel and the fragments embedded in the vehicle's mat provided conclusive physical proof of the defendant's presence at the scene.

4. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

Forensic geology approaches anchored in comprehensive soil analysis provide unprecedented scientific rigor for deciphering post-disaster crime scenes, delineating native ground versus debris interactions, and establishing unimpeachable chains of custody. The principal conclusions and actionable recommendations arising from this study are summarized below:

1. Evidentiary Reliability: The legal admissibility of forensic soil evidence in judicial proceedings fundamentally depends upon rigorous, impartial sampling protocols, impeccable chain-of-custody logging, and meticulous field distinction between in situ native soil and disaster-transported or anthropogenic debris.

2. Integrated Analytical Protocol: No single physical or chemical marker (such as soil color alone or an isolated trace element) can establish definitive provenance. Physical characterization (Munsell notation, laser granulometry), mineralogical profiling (XRD Rietveld analysis), and geochemical fingerprinting (XRF, ICP-MS) must be holistically integrated into a robust, mutually verifying multi-analytical pipeline.

3. Uncertainty and Reporting Standards: Expert forensic witness reports must objectively delineate analytical limits of detection, statistical margins of error, spatial boundaries represented by the specimens, and transparent evaluations of reasonable alternative hypotheses.

4. Future Directions: Geologists and geochemists should be actively and systematically integrated into disaster response and forensic scene investigation teams across Türkiye's forensic and law enforcement agencies. Furthermore, comprehensive national forensic soil databases and regional high-resolution mineralogical-geochemical baseline maps should be established.

THESIS ATTRIBUTION / ACKNOWLEDGEMENT

This study was prepared based on the Master's Thesis titled "Forensic Geology Approaches Based on Soil and Debris Analysis in Post-Disaster Scene Investigations" (Diyarbakır-Turkey, 2026), completed by İsmail Nurullah UTLİ in theDepartment of Mining Engineering (General Geology), Institute of Natural and Applied Sciences, Dicle University, under the supervision of Prof. Dr. Orhan KAVAK in the Fall Semester of 2026–2027.

**(Bu çalışma DicleÜniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü MadenMühendisliği Anabilim Dalında (Genel Jeoloji Bilim Dalı) Prof. Dr. Orhan KAVAK danışmanlığında 2026-2027 Güz Döneminde İsmail Nurullah UTLİ tarafındantamamlanmışolan, "Afet Sonrası Olay Yeri İncelemelerinde Toprak ve Enkaz Analizine Dayalı Adli Jeoloji Yaklaşımları" (Diyarbakır-Türkiye, 2026) başlıklı Yüksek Lisans Tezi esas alınarak hazırlanmıştır.)*

REFERENCES

1) ASTM International. (2023). Standard Guide for Collection of Soils and Other Geological Evidence for Criminal Forensic Applications (ASTM Standard No. E3272-23). ASTM International, West Conshohocken, PA. https://doi.org/10.1520/E3272-23

2) Atabey, E. (2012). Forensic Geology and Detective Geologists (Adli Jeoloji ve Dedektif Jeologlar). TMMOB Chamber of Geological Engineers Publications, Popular Geology Series: 14, 180 p., Ankara.

3) Demirci, Ş. (2021). Soil examinations and mineralogical characterization methods in forensic sciences (AdliBilimlerdeToprakİncelemeleriveMineralojikKarakterizasyonMetotları). Journal of Forensic Medicine and Life Sciences, 8(2), 115–124.

4) Gazioğlu, C., Kaya, H., &Alpar, B. (2019). The significance of soil trace evidence in forensic geology and crime scene criminalistics (Adli Jeolojive Olay YeriKriminalistiğinde Zemin İzDelillerininÖnemi). Geological Bulletin of Turkey, 62(3), 341–356.

5) MohdRosdi, N. A. N. B., Abd Hamid, N., Mohd Ali, S. F., Sino, H., & Lee, L. C. (2024). A critical review of soil sampling and data analysis strategies for source tracing of soil in forensic investigations. Critical Reviews in Analytical Chemistry, 54(8), 3520–3558. https://doi.org/10.1080/10408347.2023.2253473

6) Ruffell, A., & Wiltshire, P. (2004). Conjunctive use of quantitative and qualitative X-ray diffraction analysis of soils and rocks for forensic analysis. Forensic Science International, 145(1), 13–23. https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2004.03.017

7) Sangwan, P., Nain, T., Singal, K., Hooda, N., & Sharma, N. (2020). Soil as a tool of revelation in forensic science: A review. Analytical Methods, 12(43), 5150–5159. https://doi.org/10.1039/D0AY01634A

GEOSCIENTIFIC APPROACHES IN FORENSIC INCIDENTS: GEOPHYSICAL AND GEOTECHNICAL EVALUATION OF COLLAPSED BUILDING SITES IN DIYARBAKIR DURING THE FEBRUARY 6, 2023 EARTHQUAKES

İsmail Nurullah UTLİ
Dicle University, Institute of Natural and Applied Sciences, Department of Mining Engineering (General Geology), 21280 Sur, Diyarbakır, Türkiye
ORCID: 0009-0009-0290-316X
Prof. Dr. Orhan KAVAK
Dicle University, Faculty of Engineering, Department of Mining Engineering (General Geology), 21280 Sur, Diyarbakır, Türkiye
ORCID: 0000-0002-8068-3352

ABSTRACT
The devastating earthquakes centered in Kahramanmaraş on February 6, 2023 (Pazarcık Mw=7.7 and Elbistan Mw=7.6) caused severe destructionandheavyloss of life acrossSoutheastern Anatolia. Inthe Yenişehir and Bağlar districts of Diyarbakır, wherethedestructiveimpacts of theearthquakewereheavilymanifested, geoscientificinvestigationswereconducted at sixbuildingsitesthatcompletelycollapsedorsustainedheavydamage (Yoldaş, Dündar, Serin-2, Sözen, Hisamiapartments, andGaleriaComplex) todeterminesubsurfacedynamicsoilparameterswithinthescope of forensicinvestigations. Thisstudycriticallyevaluatesthetechnicalgeophysicalmeasurementfindingspreparedbythe TÜBİTAK MAM Earth SciencesResearchGroup at therequest of theEarthquakeCrimesInvestigationBureau of the Diyarbakır ChiefPublicProsecutor's Office withintheframework of forensicgeologyandforensicengineeringprinciples. An integratedgeophysicalmethodologycombiningSingle-Station MicrotremorHorizontal-to-VerticalSpectralRatio (H/V), PassiveMicrotremorArray (MA), and Active Multichannel Analysis of SurfaceWaves (MASW) wasimplemented. Phasevelocitydispersioncurvesobtainedfromarrayprocessingwereinvertedtoconstructone-dimensional S-wavevelocityprofilesandcalculateaverageshearwavevelocitiesacrosstheupper 30 meters (Vs30), classifyinggroundtypesaccordingto NEHRP andtheTurkishBuildingEarthquakeCode (TBEC-2018) criteria. Acrossthesixsurveyedlocations, Vs30 valuesrangedfrom 350 m/s to 585 m/s; fivesiteswereclassified as Class C/ZC (very dense soil/softrock), whileone site (HisamiApartment) waspositioned at theboundary of Class D/ZD (stiffsoil) at 350 m/s. No distinctsoil-inducedfundamentalresonantfrequencypeakwasdetected in thesingle-stationmicrotremor H/V spectralcurves; an amplitudepeakobserved in the 10–20 Hz range at the Sözen Apartment site wasdiagnosed as an urban environmentalnoiseartifactgeneratedbyheavytrafficanddebrisclearingactivities. As demonstrated in geoscientificliterature, geophysicalgroundparametersrepresentlocalized site indicatorsandcannotsolelyprovestructuralliability; theymust be synthesizedwithstructuralengineering, material quality, and chain-of-custody protocols.

Keywords: *Forensic geology, February 6 earthquakes, Diyarbakır, MASW, Microtremor H/V, Vs30, chain of custody, geotechnical assessment*

1. INTRODUCTION
The twin earthquake catastrophe centered in the Pazarcık (Mw=7.7) and Elbistan (Mw=7.6) districts of Kahramanmaraş on February 6, 2023, caused catastrophic destruction and immense loss of life across a vast geographic expanse encompassing 11 provinces. In the provincial

center of Diyarbakır, reached by the seismic wavefronts, specific multi-story reinforced concrete buildings completely collapsed—particularly in the Yenişehir and Bağlar districts where dense urban developments were erected over alluvial and clay-rich soil layers—resulting in hundreds of citizens losing their lives beneath the rubble. Following these collapses, multi-faceted judicial investigations were immediately initiated by the Earthquake Crimes Investigation Bureau of the T.R. Diyarbakır Chief Public Prosecutor's Office. Independent scientific institutions were commissioned to determine soil-structure interaction, local site amplification potential, and in situ dynamic ground parameters to evaluate structural liability rigorously.

The objective of this study is to examine in detail the official TÜBİTAK MAM geophysical measurement datasets, site classification parameters (Vs30), spectral ratio (H/V) findings, and forensic scene chain-of-custody protocols regarding the collapsed buildings in Diyarbakır through the analytical lens of forensic geology and forensic engineering.

2. FIELD SITES, EQUIPMENT, AND METHODOLOGY

2.1. Survey Locations and Field Site Conditions

Geophysical field measurements were conducted on March 1 and March 2, 2023, within the parcel footprints and immediate surrounding environs of six collapsed buildings located in the Yenişehir and Bağlar districts of Diyarbakır. The surveyed stations are designated as follows: D001 (Yoldaş Apartment), D002 (Dündar Apartment), D003 (Serin-2 Apartment), D004 (Sözen Apartment), D005 (Hisami Apartment), and D006 (Galeria Complex). Under actual post-disaster field conditions, continuous operations of heavy earthmoving machinery, towering debris mounds, and intense urban vehicular traffic severely constrained linear receiver array geometries. This operational reality necessitated stringent ambient environmental noise filtering protocols during forensic data processing.

2.2. Instrumentation and Data Acquisition Setup

Field campaigns deployed high-resolution, certified geophysical measurement systems compliant with international geophysical standards:

- **Single-Station Microtremor Acquisition:** Conducted using a Reftek DAS-130 series 24-bit high-resolution digital data acquisition system, equipped with a high-accuracy GPS time-stamping antenna unit and a Lennartz 3-component (L4-3C) broadband velocity seismometer.
- **Passive and Active Surface Wave Systems:** Comprised three 24-channel Geometrics GEODE digital exploration seismographs (providing an integrated modular array capacity of up to 72 channels), vertical-component geophones with a 4.5 Hz natural resonant frequency, shielded low-noise seismic land cables, and a ruggedized field acquisition terminal. For active MASW acquisitions, seismic energy excitation was generated using an 8-kg sledgehammer striking a heavy-gauge steel striker plate.

2.3. Applied Analytical Methodologies

The experimental research design unified three mutually verifying, complementary surface wave and microtremor techniques into a singular integrated framework:

1. Single-Station Microtremor Spectral Ratio (H/V) Method: Based on the formulation pioneered by Nakamura (1989), which posits that the vertical motion component is minimally amplified by surficial strata, the geometric mean of the two orthogonal horizontal Fourier amplitude spectra is divided by the vertical spectrum. This method screens for the fundamental resonant site frequency (f0) and site amplification factors. Raw ambient records were processed utilizing the automated H/V processing module within the open-source GEOPSY signal processing package.

2. Passive Microtremor Array (MA): Capitalizing on ambient natural and anthropogenic micro-vibrations (traffic, industrial activities, machinery), continuous passive vibrations were recorded for 1 to 2 hours at an 8 ms sampling interval using 2D circular and cross-shaped geometric arrays. Using the 2D frequency-wavenumber (f-k) high-resolution algorithm in GEOPSY, fundamental-mode Rayleigh wave dispersion properties corresponding to deeper subterranean layers were extracted.

3. Active Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW): Controlled high-frequency surface wave packets were recorded at an ultra-fine sampling interval of 0.5 ms by generating sledgehammer impacts off the profile endpoints and along the center of the geophone spread. A 1D f-k transformation was applied to extract dispersion velocity curves representing shallow overburden strata.

4. Inversion Modeling and Vs30 Calculation: Dispersion curves from passive MA and active MASW were merged across an extended broadband frequency spectrum. Layered 1D S-wave velocity depth profiles were reconstructed using a linearized damped least-squares inversion algorithm via Computer Programs in Seismology (Herrmann 2013). The average shear-wave velocity across the upper 30 meters (Vs30) was calculated using the standard time-weighted harmonic mean formula.

3. RESULTS AND FORENSIC GEOSCIENCES EVALUATION

3.1. Shear-Wave Velocities (Vs30) and Soil Classification

Inversion modeling resolved Vs30 shear-wave velocities ranging between 350 m/s and 585 m/s across the six collapsed building sites. According to NEHRP provisions and TBEC-2018 (Turkey Building Earthquake Code) seismic design standards:

- **D003 (Serin-2 Apartment):** Exhibited the highest shear-wave velocity among all surveyed sites with a Vs30 of 585 m/s, characterizing a rigid, very dense C-class (ZC) substrate.
- **D001 (Yoldaş, 383 m/s), D002 (Dündar, 400 m/s), D004 (Sözen, 434 m/s), and D006 (Galeria, 366 m/s):** All fell squarely within the C (or TBEC-2018 ZC) classification category, reflecting very dense soil and weathered rock substrata.
- **D005 (Hisami Apartment):** Yielded the lowest velocity in the technical report with a Vs30 of 350 m/s, positioning it right at the boundary threshold of Class D (ZD: stiff/medium-dense soil). While the comparatively lower stiffness observed at the Hisami site introduces the potential for local seismic wave amplification, this geophysical finding cannot legally or technically be deemed the sole causative agent of building collapse. Flaws in structural frame design, rebar corrosion, improper unpermitted architectural modifications, and concrete quality deficiencies must be independently evaluated by expert engineering panels.

3.2. Microtremor H/V Spectral Ratios and Ambient Noise Discrimination

Across the H/V spectral amplitude curves derived from single-station microtremor measurements, none of the six investigation sites revealed a sharp, distinct resonant peak attributable to a shallow seismic impedance contrast. An amplitude peak observed between 10 Hz and 20 Hz at station D004 (Sözen Apartment) was definitively diagnosed through GEOPSY time-frequency analysis as an anthropogenic environmental noise artifact induced by heavy construction machinery and urban hauling vehicles operating nearby. In forensic geosciences, every spectral peak cannot be indiscriminately interpreted as ground resonance; meticulous discrimination of artificial industrial sources is a vital quality control prerequisite.

3.3. Forensic Chain of Custody and Boundaries of Scientific Judgment

In judicial criminal proceedings, the generation and admissibility of scientific evidence must adhere to rigorous procedural criteria:

1. Data Traceability and Logging: An unbroken evidentiary custody chain must be established from the unique measurement station identifier through certified instrument calibration records, raw unedited time-series files, processing parameters, and final geophysical interpretation.

2. Independent Evidentiary Classes: In situ geophysical ground parameters, structural engineering damage evaluations, and laboratory tests on concrete/steel core samples constitute three independent classes of forensic evidence. None can substitute for another; rather, they must converge within a comprehensive holistic forensic framework.

3. Spatial Representativeness Limits: The calculated Vs30 values reflect the 1D subterranean column directly beneath the geophone layout line. Because parcel-scale lateral lithological facies variations and fluctuations in groundwater table depth may occur, a single geophysical profile cannot be dogmatically imposed as representing the absolute geotechnical behavior of the entire cadastral plot.

4. CONCLUSION AND RECOMMENDATIONS

Integrated multi-channel surface wave and single-station microtremor geophysical investigations conducted across the foundations of six collapsed buildings in Diyarbakır after the February 6, 2023 earthquakes have provided a robust technical foundation for ongoing judicial proceedings. The primary conclusions and judicial recommendations are summarized below:

1. Dynamic Soil Parameters: Five of the six investigated collapsed building parcels exhibited Class C (ZC) ground conditions (Vs30: 366–585 m/s). Only the Hisami Apartment site was positioned at the Class D (ZD) boundary with 350 m/s, warranting detailed consideration of site-specific wave amplification in structural modeling.

2. Resonance Evaluation: No detrimental soil-structure resonant frequency was observed in microtremor H/V spectral ratios. Consequently, the primary investigative focus regarding structural failure causality must center on structural design flaws, unpermitted commercial modifications (e.g., column-cutting allegations), and subpar material quality.

3. Recommendations for Expert Witness Reporting: Forensic expert reports submitted to disaster courts must explicitly disclose raw sensor records, processing workflows, resolution limits, and associated uncertainties. For future disaster investigations, institutional mechanisms should be formalized where geophysicists, engineering geologists, and structural engineers collaborate using standardized technical lexicons.

THESIS ATTRIBUTION / STATEMENT

**This study was prepared based on the Master's Thesis titled "Forensic Geology Approaches Based on Soil and Debris Analysis in Post-Disaster Scene Investigations" (Diyarbakır-Turkey, 2026), completed by İsmail Nurullah UTLİ in the Department of Mining Engineering (General Geology), Institute of Natural and Applied Sciences, Dicle University, under the supervision of Prof. Dr. Orhan KAVAK in the Fall Semester of 2026–2027.*

**(Bu çalışma Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalında (GenelJeolojiBilimDalı) Prof. Dr. Orhan KAVAK danışmanlığında 2026-2027 Güz Döneminde İsmail Nurullah UTLİ tarafından tamamlanmış olan, "Afet Sonrası Olay Yeri İncelemelerinde Toprak ve Enkaz Analizine Dayalı Adli Jeoloji Yaklaşımları" (Diyarbakır-Türkiye, 2026) başlıklı Yüksek LisansTezi esas alınarak hazırlanmıştır.)*

REFERENCES

1) BSSC/NEHRP. (2015). NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures (FEMA P-1050-1). Building Seismic Safety Council, National Institute of Building Sciences, Washington, D.C.
2) Herrmann, R. B. (2013). Computer Programs in Seismology: An evolving tool for instruction and research. Seismological Research Letters, 84(6), 1081–1088.
3) Nakamura, Y. (1989). A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. Railway Technical Research Institute, Quarterly Reports, 30(1), 25–33.
4) TÜBİTAK MAM Earth Sciences Research Group. (2023). Geophysical Measurements Report on the Subsurface of Collapsed Buildings in Diyarbakır Province as a Result of the February 6, 2023 Kahramanmaraş Earthquakes (Report No: 21/03/2023). T.R. Diyarbakır Chief Public Prosecutor's Office, Earthquake Crimes Investigation Bureau, Gebze-Kocaeli.
5) Türkiye Building Earthquake Code (TBEC / TBDY). (2018). Principles for the Design of Buildings Under Earthquake Action. Disaster and Emergency Management Authority (AFAD), Official Gazette Issue: 30364 (Bis), Ankara.

HVAC SEKTÖRÜNDE YAPAY ZEKÂ UYGULAMALARI: MEVCUT YAKLAŞIMLAR, ZORLUKLAR VE GELECEK YÖNELİMLERE İLİŞKİN BİR DERLEME

Assist. Prof. Dr. Altay ARBAK
İstanbul Medeniyet University, Faculty of Engineering and Natural Sciences,
Department of Mechanical Engineering, İstanbul, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-6825-415X

ÖZET
Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme (HVAC) sistemleri, bina enerji tüketiminin yaklaşık %40–50'sini oluşturur; bu durum onları enerji verimliliği ve karbonsuzlaştırma çalışmaları için öncelikli bir hedef hâline getirir. Bina otomasyon sistemi (BAS) verilerinin, düşük maliyetli sensörlerin ve hesaplama kaynaklarının artan erişilebilirliği, HVAC sektöründe yapay zekâ (YZ) ve makine öğrenmesi (MÖ) yöntemlerinin benimsenmesini hızlandırmıştır. Bu makale, HVAC sistemlerinde YZ uygulamalarının yapılandırılmış bir derlemesini sunmakta; termal yük ve enerji tüketimi tahmini, arıza tespiti ve teşhisi (FDD), model öngörülü kontrol (MPC) ve pekiştirmeli öğrenme (RL) gibi optimal ve öngörülü kontrol yaklaşımları, ısı değiştiricileri, soğutma grupları ve ısı pompaları için veri odaklı vekil modeller ile kullanıcı termal konfor tahmini konularına özel olarak odaklanmaktadır. Her alan için yaygın olarak kullanılan algoritmalar (yapay sinir ağları, ağaç tabanlı topluluklar, destek vektör makineleri, derin öğrenme mimarileri ve RL ajanları), tipik veri kümeleri ve raporlanan performans düzeyleri gözden geçirilmektedir. Ardından, etiketli arıza verilerinin sınırlı bulunabilirliği, binalar arasında sınırlı genellenebilirlik, karmaşık modellerin kara kutu niteliği ve laboratuvar çalışmaları ile saha uygulamaları arasındaki fark gibi kesişen zorluklar tartışılmaktadır. SHapley Additive exPlanations (SHAP) gibi açıklanabilir YZ (XAI) tekniklerinin yanı sıra fizik bilgili ve hibrit modelleme yaklaşımlarının artan rolü, mühendislik güvenini ve yorumlanabilirliği artırmanın bir yolu olarak vurgulanmaktadır. Son olarak transfer öğrenmesi, dijital ikizler ve düşük GWP'li soğutucu akışkan sistemleri ile şebeke etkileşimli binalarla entegrasyon dâhil olmak üzere gelecek araştırma yönelimleri belirlenmektedir.
Anahtar Kelimeler: HVAC, yapay zekâ, makine öğrenmesi, arıza tespiti ve teşhisi, açıklanabilir yapay zekâ

ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS IN THE HVAC SECTOR: A REVIEW OF CURRENT APPROACHES, CHALLENGES AND FUTURE DIRECTIONS

ABSTRACT
Heating, ventilation and air-conditioning (HVAC) systems represent roughly 40–50% of building energy consumption, which makes them a primary target for energy efficiency and decarbonization efforts. The increasing availability of building automation system (BAS) data, low-cost sensors and computational resources has spurred the adoption of artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) methods across the HVAC sector. This paper presents a structured review of AI applications in HVAC systems, with particular attention to thermal load and energy consumption forecasting, fault detection and diagnosis (FDD), optimal and predictive control approaches such as model predictive control (MPC) and reinforcement learning (RL), data-driven surrogate models for heat exchangers, chillers and heat pumps, and

occupant thermal comfort prediction. For each domain, commonly used algorithms (artificial neural networks, tree-based ensembles, support vector machines, deep learning architectures and RL agents), typical datasets and reported performance levels are reviewed. Cross-cutting challenges are subsequently discussed, such as limited availability of labeled fault data, limited generalization across buildings, the black-box nature of complex models, and the gap between laboratory studies and field deployment. The growing role of explainable AI (XAI) techniques, such as SHapley Additive exPlanations (SHAP), and of physics-informed and hybrid modeling approaches is emphasized as a way to enhance engineering trust and interpretability. Lastly, future research directions are identified, including transfer learning, digital twins, as well as integration with low-GWP refrigerant systems and grid-interactive buildings.
Keywords: HVAC, artificial intelligence, machine learning, fault detection and diagnosis, explainable AI

1. INTRODUCTION

Buildings are responsible for more than 40% of annual energy consumption and close to 40% of energy-related CO_2 emissions (Aghili et al., 2025). Inside a building, the largest single consumer is usually the HVAC system. Published estimates put its share at roughly 40–50% of building energy use (Aghili et al., 2025; Bi et al., 2024), although the exact figure depends on climate, building type and system design, and lower values are also reported (Lu et al., 2025). Part of this energy is lost for avoidable reasons. Faulty equipment and poorly tuned control are thought to waste 15–30% of the energy used in commercial buildings, and timely fault detection is credited with savings of 5–30% (Bi et al., 2024). For a mechanical engineer, these figures define the opportunity: a large energy flow, a known share of waste and, in most modern buildings, a building automation system (BAS) that already records how the plant behaves.

The second ingredient is data and computation. Building automation and management systems now log temperatures, flows, valve positions and power at intervals of minutes, sensors have become cheap, and training a neural network no longer requires specialized hardware (Himeur et al., 2023; Lu et al., 2025). As a result, AI methods have moved from the design office, where genetic algorithms were coupled to building simulation tools to search for good setpoints (Ahmad et al., 2016), into day-to-day operation, where models forecast loads, flag faults and choose control actions in real time (Aghili et al., 2025; Lu et al., 2025).

The literature has grown accordingly. Figure 1 shows the number of Scopus records per year that contain both HVAC and AI terms in their title, abstract or keywords. The count rose from 64 in 2010 to 993 in 2025, a 15.5-fold increase that corresponds to a compound annual growth rate of 20.1%. Records from 2020–2025 make up 76.3% of all records from 2010–2025, and 929 records (the lighter bar) had already been indexed for 2026 by 18 October 2026. The search behind this figure is described in Section 2.

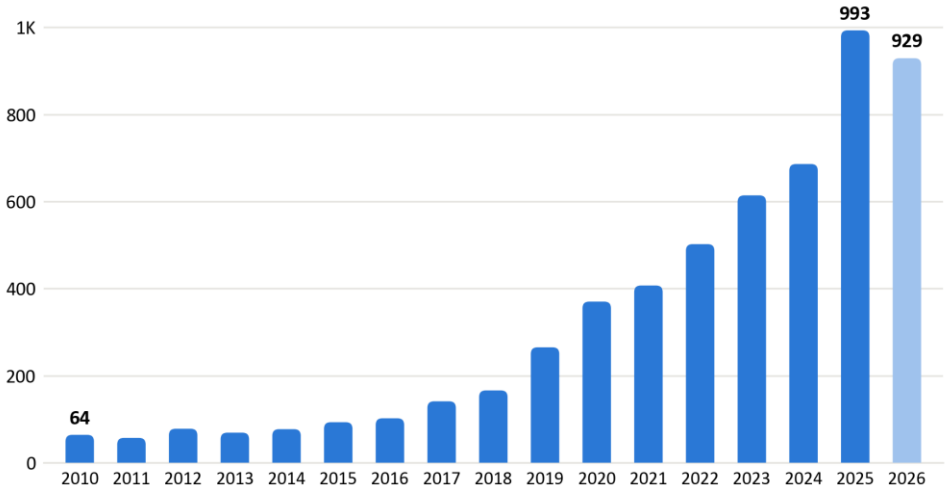


Figure 1. Scopus records per year containing both HVAC and AI terms in the title, abstract or keywords, 2010–2026.

This growth has produced a large number of review articles, but most of them look at one part of the field. Some concentrate on load prediction (L. Zhang et al., 2021), others on fault detection and diagnosis (Bi et al., 2024), on residential control (Felez & Felez, 2026), on big-data analytics for building automation (Himeur et al., 2023) or on energy management (Aghili et al., 2025). A reader who wants to understand where AI stands in HVAC as a whole, and how the methods are put to work, has to combine several of these sources.

This paper does that combination. Its aims are threefold. First, it brings seven reviews and the primary studies they report into one structured synthesis organized by application area. Second, it adds a bibliometric view of how quickly the literature on AI in HVAC has grown. Third, it explains, at the level of a working engineer, how the main methods are applied: which data they use, what they compute and where they sit in the HVAC control loop. The remainder of the paper is organized as follows. Section 2 describes the search, selection and synthesis. Section 3 presents the findings for five application areas. Section 4 discusses the challenges shared across the reviews and the reliability of reported savings, and Section 5 concludes with directions for future work.

2. METHODOLOGY

2.1. Review design

The study is a structured review of reviews, sometimes called an umbrella review. It describes its search and selection steps, but it does not claim to be a full systematic review: the included reviews were chosen purposively by the author, as explained in Section 2.3. The unit of evidence is the review article. Primary studies are cited where a review reports a specific method or result from them; in those cases the result is used as summarized by the review, and that review is cited in the same subsection.

2.2. Search strategy

Two searches were run in the Scopus database on 18 October 2026. The first search measured the volume of the literature. It combined two groups of terms with the Boolean operator AND and was applied to the title, abstract and keyword fields (TITLE-ABS-KEY), as shown in Figure 2. The HVAC group contained “HVAC”, “heating, ventilation”, “heating ventilation”, “air conditioning” and “air-conditioning”; the AI group contained “artificial intelligence”, “machine learning”, “deep learning”, “reinforcement learning” and “neural network*”. Records

were counted separately for each publication year from 2010 to 2026, without restrictions on document type, language or subject area. These counts are shown in Figure 1.

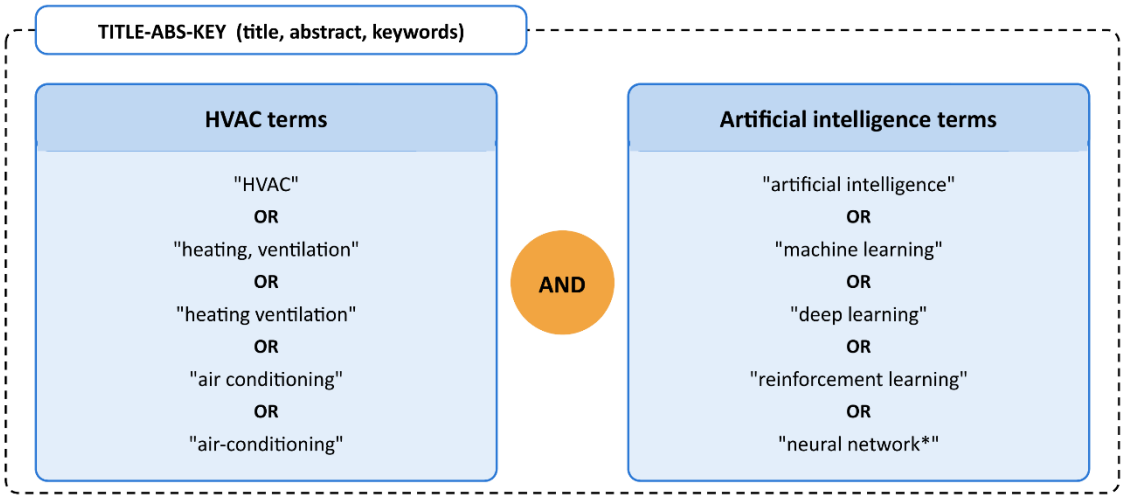


Figure 2. Boolean structure of the Scopus query used for the bibliometric counts.

A second search, with broader term lists, looked for review articles on AI in HVAC systems published in English between 2020 and 2026. The HVAC group was extended with terms such as chillers, heat pumps, building energy and refrigeration, and the AI group with terms such as data-driven, explainable and digital twin. The review document type and title words such as review *or* survey *were used to identify review articles.*

2.3. Screening and selection

The records returned by the searches were merged and duplicates were removed. The remaining records were screened on the basis of their titles and ranked by their relevance to AI applications in HVAC systems and to the wider building-energy context. From this pool, the reviews to be synthesized were selected purposively by the author. The selection aimed at a set that, taken together, covers the five application areas used in this paper and that consists of highly cited or very recent reviews (Aghili et al., 2025; Bi et al., 2024; Felez & Felez, 2026; Himeur et al., 2023; Lu et al., 2025; L. Zhang et al., 2021). A review from 2016 (Ahmad et al., 2016), which lies outside the search window, was added as a historical anchor for the period before deep learning. One further publication that was read in full turned out to be a single case study rather than a review and was excluded. Table 1 lists the seven included reviews and their own search characteristics.

Table 1. Reviews included in the synthesis.

Review	Focus	Period covered	Sources searched
Ahmad et al. (2016)	Computational intelligence for HVAC prediction, optimization, control and FDD	mainly 1994–2015	IEEE Xplore, ScienceDirect, Scopus, Google Scholar
L. Zhang et al. (2021)	Machine learning for building load prediction	2010–2020	Google Scholar (keyword synonym search)
Himeur et al. (2023)	AI and big-data analytics for building automation and management	2015–2022	Scopus, Elsevier, Wiley, IEEE (PRISMA)
Bi et al. (2024)	AI for HVAC fault detection and diagnosis	2013–2023	Web of Science
Lu et al. (2025)	AI for optimizing HVAC operation	2009–2024	keyword search and snowballing
Aghili et al. (2025)	AI for HVAC energy management	2018–2025	ScienceDirect, Scopus, Google Scholar
Felez & Felez (2026)	Intelligent HVAC control in residential buildings	2010–2025	Scopus, Web of Science, IEEE Xplore, ScienceDirect (PRISMA)

2.4. Data extraction and synthesis

Each included review was read in full. For every review, the scope, the method families covered, the way methods are applied, the quantitative results, the stated challenges and the proposed future directions were recorded together with page numbers. Results are reported as given in the reviews, and whether a value comes from simulation or from field tests is noted where the reviews state it. Where two sources, or two parts of the same source, report different values, both are given. The findings were then organized thematically into five application areas, which form the structure of Section 3.

3. RESEARCH AND FINDINGS

3.1. Five application areas

Across the reviews, AI applications in HVAC fall into five areas: load and energy forecasting; fault detection and diagnosis; control and optimization; thermal comfort and occupancy; and the building automation platforms on which these functions run. The areas are not equally represented. In the 249 studies analyzed by Aghili et al. (2025), 82.93% deal with control and 17.07% with maintenance. Control strategy alone accounts for 45% of the studies, followed by forecasting (16%), FDD (15%), occupancy (13%), thermal comfort (9%) and maintenance management (2%). The same review finds deep reinforcement learning to be the most frequent algorithm in control studies, while support vector machines and artificial neural networks lead in maintenance studies.

The three main learning paradigms map onto these areas in a fairly stable way. Supervised learning, which needs labeled examples, is used for forecasting, fault diagnosis and comfort prediction. Unsupervised learning, which works on unlabeled data, is used for anomaly detection, clustering of operating patterns and dimensionality reduction. Reinforcement learning is used where a controller must learn from interaction rather than from a fixed dataset (Aghili et al., 2025; Himeur et al., 2023). The following subsections take the areas in turn.

3.2. Load and energy forecasting

Load forecasting supplies the inputs for almost every other function: an operator plans chiller sequencing from an expected cooling load, and a predictive controller needs a forecast of the disturbances it is about to face. L. Zhang et al. (2021) counted 128 different algorithms in nine families used for building load prediction, from linear regression and support vector machines to tree-based methods, deep learning and hybrids. The loads predicted include cooling, heating,

HVAC, district heating, natural gas and electricity, and the horizons range from hours to days for control and demand response, to months for retrofit decisions and to years for energy planning.

In practice, a forecasting model passes through the five steps shown in Figure 3. Data are first collected from meters, sensors and the BAS, together with weather and occupancy information, typically at intervals of 1–15 minutes. They are then cleaned: outliers are removed, gaps are filled, records are resampled to the prediction interval and variables are scaled. In the third step, features are built and selected. Time indicators and lagged loads are the most common features; for heavy-mass buildings, lags of three hours or more are used, and for light buildings one to two hours. Feature selection relies on filter, wrapper or embedded methods. The fourth step is the model itself, whose hyperparameters are often tuned with metaheuristics such as genetic algorithms, particle swarm optimization or differential evolution; clustering the data first and training one model per cluster is a further option. The final step is evaluation and reporting with error measures such as MAPE and RMSE (L. Zhang et al., 2021).

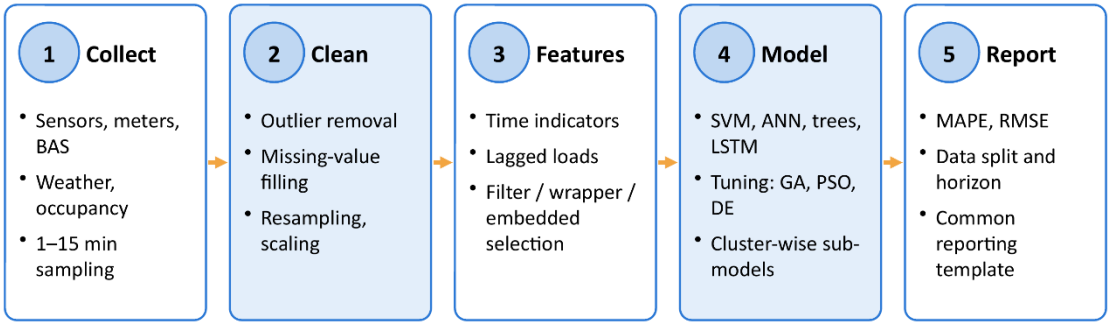


Figure 3. Five-step pipeline of a data-driven load forecasting model (synthesized from L. Zhang et al. (2021)).

Two examples illustrate the range of methods. A C4.5 decision tree classified building energy demand levels with 93% accuracy on training data and 92% on test data (Yu et al., 2010), and a hybrid of a seasonal autoregressive model and a firefly-optimized least-squares support vector regression reached a total error rate of 1.18% for one-day-ahead consumption forecasts (Chou & Ngo, 2016). Such figures depend heavily on the dataset and are not comparable across studies.

The more instructive finding concerns where the effort goes. About 80% of the modeling time in machine learning projects is spent on data, yet roughly 110 of the papers reviewed by L. Zhang et al. (2021) focus on algorithms and only about 50 address the data side. Only 66% of the papers report any pre-processing. Many studies also omit the data resolution, the train–test split or the tuning of the comparison models, which makes results hard to reproduce. To address this, L. Zhang et al. (2021) proposed a common reporting template covering the building and energy type, the data source and sampling interval, the cleaning steps, the feature set, the algorithm and its tuning, and the error metrics.

3.3. Fault detection and diagnosis

FDD is the most mature data-driven application in HVAC. Its aims are to detect whether the system is operating abnormally, to locate the cause and, increasingly, to predict how a fault will develop (Bi et al., 2024). Of the 211 studies selected by Bi et al. (2024) for 2013–2023, 81.3% use AI-based methods and 18.7% physical models (Figure 4a). Traditional machine learning accounts for 54.2% of all studies, deep learning for 21.7% and hybrid AI for 5.4%. Chillers and air-handling units (AHUs) are by far the most studied systems.

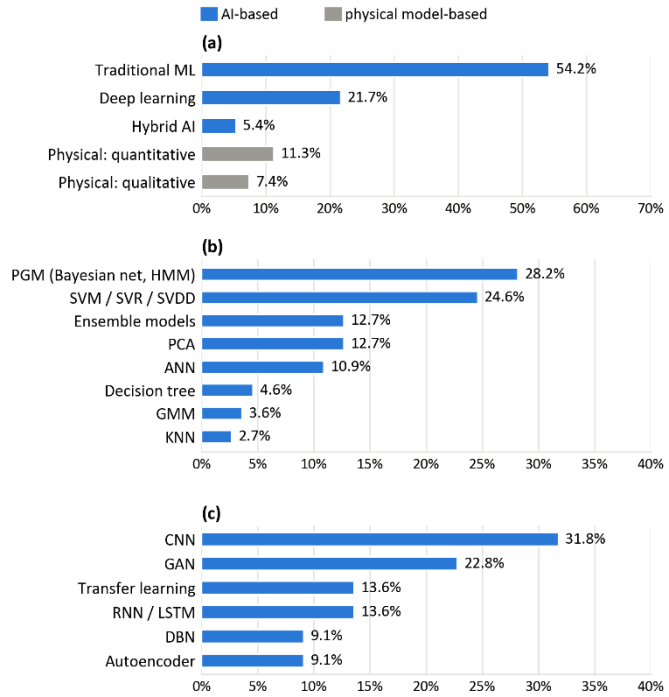


Figure 4. Method families and algorithms in HVAC FDD studies, 2013–2023: (a) shares of all 211 studies, (b) traditional machine learning and (c) deep learning algorithms as shares within each family (data from Bi et al. (2024)).

Within traditional machine learning, probabilistic graphical models such as Bayesian networks and hidden Markov models (28.2%) and support vector methods (24.6%) are the largest groups, followed by ensemble models and principal component analysis (12.7% each). Within deep learning, convolutional neural networks (31.8%) and generative adversarial networks (22.8%) lead (Figure 4b,c). The methods differ less in what they predict than in how they decide that something is wrong, as summarized in Table 2.

Table 2. How the main FDD method families flag a fault, with examples reported in the literature.

Method family	Principle	Reported example
Physical reference model	A model of normal operation predicts the measurement; a residual above a threshold signals a fault	support vector regression reference with control chart on residuals (Bi et al., 2024)
Principal component analysis	Reconstruction error or distance in the reduced space (Hotelling T^2, Q statistic) exceeds a threshold	refrigerant charge faults in VRF systems (J. Liu et al., 2017); AHU sensor faults (Wang & Xiao, 2004)
Support vector methods	SVM separates normal and faulty classes; SVDD encloses normal data in a hypersphere	semi-supervised SVM–KNN on a rooftop unit, 94.9% average accuracy (Albayati et al., 2023)
Tree-based ensembles	Classify fault type, or predict fault-free behavior and compare with a dynamic threshold	XGBoost with dynamic threshold (Chakraborty & Elzarka, 2019); multi-region XGBoost on screw chillers, 96.89% accuracy (S. Zhang et al., 2021)
Deep learning	Learn fault patterns from raw time series (CNN, LSTM); autoencoders flag high reconstruction error	very deep residual CNN for chillers (X. Liu et al., 2018)

Ensemble methods show how far accuracy has been pushed on laboratory data. When random

forest, XGBoost, LightGBM and support vector machines were compared on centrifugal chillers, LightGBM performed best with a macro-averaged F1 score of 0.88 (Yao et al., 2022), and a majority-vote combination of k-nearest neighbours, support vector machines and random forest reached 99.88% diagnostic accuracy (Han et al., 2020). These values, however, refer to single datasets and cannot be ranked against each other.

A practical obstacle is the shortage of labeled fault data: buildings run normally most of the time, and faults are rarely recorded with their cause. Three strategies address this. Generative adversarial networks create synthetic fault samples to balance the training set; a Wasserstein variant was first applied to AHU diagnosis for this purpose (Zhong et al., 2019). Transfer learning moves a model trained on one system to another; in a comparison of strategies for building energy systems, simple fine-tuning outperformed two domain-adaptation approaches (G. Li et al., 2023). Semi-supervised learning uses a few labeled samples together with many unlabeled ones, for example through self-training of neural networks for AHUs (Fan et al., 2021). All three depend on the source and target data being similar enough, and Bi et al. (2024) point out that most deep models still recognize only the fault types seen in training.

3.4. Control and optimization

Control is where most of the recent work concentrates and where the largest savings are claimed. Two families dominate: model predictive control, which optimizes with an explicit model, and deep reinforcement learning, which learns a control policy from interaction. Their working loops are compared in Figure 5.

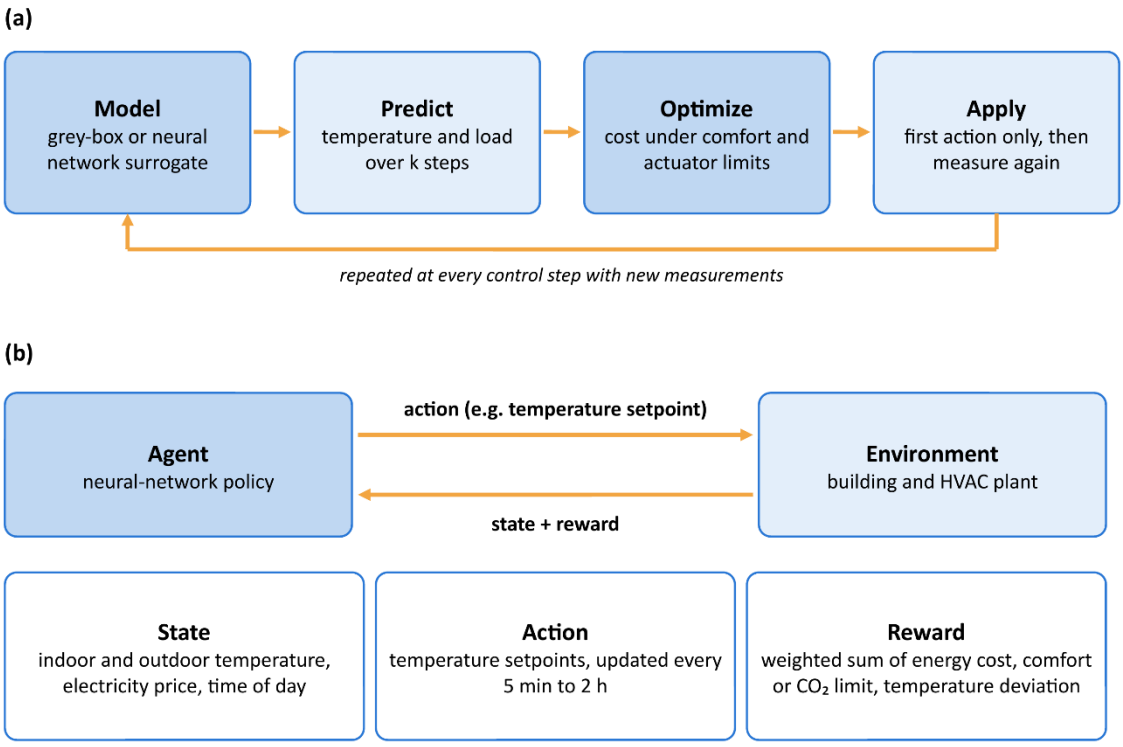


Figure 5. Working loops of (a) model predictive control and (b) deep reinforcement learning in HVAC operation (synthesized from Felez & Felez (2026) and Lu et al. (2025)).

Model predictive control. *MPC appears in about 40% of the studies reviewed by Felez & Felez (2026). At each control step, a model of the building and plant, either grey-box or a neural-network surrogate such as an LSTM, predicts the indoor temperature and load over a finite horizon. An optimiser then chooses the sequence of actions that minimizes cost while respecting*

comfort bounds and actuator limits; only the first action is applied, the system is measured again and the procedure repeats. Variants include centralized and distributed MPC, economic MPC that responds to time-varying tariffs, and robust or stochastic MPC that accounts for uncertain weather and occupancy (Felez & Felez, 2026). Residential applications include economic MPC for demand flexibility (Finck et al., 2019) and mixed-integer MPC for variable-speed heat pumps (Lee et al., 2019). Compared with rule-based or PID control, MPC typically saves 15–20% of energy (Felez & Felez, 2026). In a field implementation in a mid-size commercial building (Bengea et al., 2014), savings of about 20% in transition seasons and up to 70% in the heating season are reported (Felez & Felez, 2026). The main costs are the expertise needed to build and calibrate the model, the computation required for multi-zone nonlinear problems with long horizons, and the work of connecting the controller to the building management system.

Machine-learning models have also been used inside MPC in building automation. Himeur et al. (2023) list, among others, an approach that predicts thermal comfort with a feedforward network and optimizes it with a deep deterministic policy gradient agent, saving 4.31% of HVAC energy (Gao et al., 2020); an MPC with an adaptive neural-network model that saved 58.5% of cooling thermal energy (Yang et al., 2020); an experimental study on real test beds with a recurrent neural network model and a 52% reduction in cooling energy (Yang et al., 2021); and an encoder–decoder recurrent network MPC with savings of 4–7% (Y. Li & Tong, 2021). The spread of these values, from about 4% to almost 60%, is itself a finding that is taken up in Section 4.

Deep reinforcement learning. *DRL does not need an explicit building model. An agent, usually a neural network, observes the state of the building, chooses an action, receives a reward and adjusts its policy to maximize the accumulated reward. In HVAC applications, the state typically contains indoor and outdoor conditions, electricity prices and time; the action is mostly a temperature setpoint updated every five minutes to two hours; and the reward is a weighted sum of energy cost, comfort or CO_2 limits and temperature deviation (Lu et al., 2025). Value-based algorithms such as DQN, and actor–critic and policy-gradient algorithms such as DDPG, SAC and PPO, are all in use. Typical training relies on experience replay and a target network to stabilize learning (Felez & Felez, 2026; Lu et al., 2025).*

Reported results are encouraging. A DDPG controller for multi-zone residential HVAC (Du et al., 2021) is reported to reduce comfort violations by 79–98% relative to its baselines, and a hierarchical scheme that combines two DRL algorithms reduced energy use by about 3.95% and improved temperature compliance by 8.37% (Liao et al., 2025). Combining an LSTM occupancy predictor with a deep Q-network reduced temperature and CO_2 violations by roughly 10–17% and shortened HVAC runtime by 10.9–30.4% (Hou et al., 2025). As summarized by Felez & Felez (2026), DRL saves 15–35% of energy compared with rule-based control. The price is data: a DRL agent may need millions of interactions, which are only practical in simulation, and online learning in an occupied home is unsafe because early exploration can violate comfort. Pre-training in a digital twin, imitation of an MPC and safety layers are proposed remedies (Felez & Felez, 2026). Once trained, however, a policy makes a decision in milliseconds.

Comparison. *Table 3 summarizes the trade-offs. MPC offers high predictability and explicit constraint handling but needs an accurate model; DRL is the most flexible but has a high sample cost and is harder to predict. Hierarchical and hybrid schemes combine the two, for example by using neural predictors inside MPC or by letting DRL tune MPC parameters, at the price of greater integration and tuning effort (Felez & Felez, 2026). A practical reading is that MPC suits plants whose dynamics are well understood and whose constraints matter,*

whereas DRL is attractive where the model is hard to obtain and the conditions change frequently.

Table 3. Qualitative comparison of advanced HVAC control approaches (adapted from Felez & Felez (2026)).

Approach	Flexibility	Predictability	Complexity	Main limitation
MPC	moderate	high	high	needs an accurate model
DRL	very high	moderate	very high	high sample cost, resource-intensive
Neural-network based	high	moderate–high	moderate	coordination overhead
Hierarchical	high	high	moderate–high	communication between layers
Hybrid	very high	high	very high	integration and tuning effort

3.5. Thermal comfort, occupancy and building automation platforms

Comfort and occupancy link the plant to the people it serves. Supervised models predict comfort indices from indoor conditions and occupant data, and occupancy is estimated from CO_2, motion sensors, Wi-Fi traces or cameras. Vision-based systems, for instance, detect occupants and adjust ventilation between minimum and increased flow rates according to the number of people present (Lu et al., 2025). The accuracy of the occupancy signal matters: CO_2-based change-point detection reaches only about 70% precision and 60% recall (Felez & Felez, 2026). Reported savings from occupancy-aware control are inconsistent even within one source, which gives typical savings of 5–13.3% in a summary table but 19–45% in the text (Felez & Felez, 2026). For AI-assisted personalized comfort control more broadly, average energy savings of 21.81–44.36% have been reported (Lu et al., 2025).

These functions run on building automation platforms whose architecture affects what is feasible. Edge devices filter and fuse sensor data in real time, fog nodes make fast local decisions such as stopping equipment before damage occurs, and the cloud provides storage and computationally heavy analytics at the cost of latency and privacy (Himeur et al., 2023). Federated learning addresses privacy directly: a server sends a global model to the participating buildings, each building trains it on its own data, and only the updated model weights are returned and averaged, so that raw data never leave the building (Lu et al., 2025). Digital twins add a further layer and are commonly described in four levels: sensing devices, data transmission and processing, modeling and simulation, and applications such as fault finding and control decisions (Lu et al., 2025). In one case study, a neural-network MPC for a sports hall, tuned offline in a calibrated simulation model, saved about 15% of energy while keeping comfort acceptable (Himeur et al., 2023).

3.6. From computational intelligence to modern AI

The 2016 review by Ahmad et al. (2016) shows how the field looked before deep learning. Optimization was dominated by metaheuristics, above all genetic algorithms, which searched setpoints or schedules while a simulation tool evaluated each candidate. MATLAB/Simulink was used in about 47% of the studies, TRNSYS in 19% and EnergyPlus in 12%, and energy consumption was the most common objective. Typical results included 30.4% summer energy savings from a genetic-algorithm controller for a multi-zone air-conditioning system (Mossolly et al., 2009), 16% savings over two summer months from two-objective optimization of HVAC control strategies (Nassif et al., 2005), a multi-objective particle swarm method for HVAC operation (Kusiak et al., 2011), about 19% savings at part load and 10% at full load from neural-

network-based optimization of a variable-air-volume system (Ning & Zaheeruddin, 2010), and more than 50% savings from neural-network predictive control combined with multi-objective genetic algorithms in public buildings (Ferreira et al., 2012). Neural networks served mainly as fast surrogates for slow simulation models, and fault detection already relied on principal component analysis (Wang & Xiao, 2004).

Ten years later, the same building blocks are still present, but their roles have changed. Reinforcement learning has become the most frequent algorithm in control studies (Aghili et al., 2025); deep networks now learn directly from operating data; and digital twins and cloud platforms replace offline simulation as the place where models are trained and tested. One thing has not changed: in 2016, as today, most results were obtained in simulation or on small test systems, and validation in real buildings was named as the main gap (Ahmad et al., 2016).

4. DISCUSSION

4.1. Challenges shared across the reviews

Although the reviews differ in scope and period, they repeat a small set of barriers. Table 4 marks which review states each challenge explicitly.

Table 4. Challenges stated explicitly in the included reviews (• = stated).

Challenge	Ahmad 2016	Zhang 2021	Himeur 2023	Bi 2024	Lu 2025	Aghili 2025	Felez 2026
Data quality and scarcity		•	•	•	•	•	•
Simulation–field gap	•				•	•	•
Generalization across buildings				•	•	•	
Black-box models				•		•	•
Integration with existing BMS			•		•	•	•

Data quality and scarcity is the most widely shared concern, named in six of the seven reviews. It appears in several forms: noisy and incomplete BAS records, missing or inconsistent labels, a lack of public benchmark datasets and a scarcity of fault examples (Bi et al., 2024; Himeur et al., 2023; L. Zhang et al., 2021). The second issue is the gap between simulation and field results. Many models are trained and validated only in simulation, so their performance under sensor drift, communication delays and occupant overrides is unknown (Aghili et al., 2025; Felez & Felez, 2026). Generalization is closely related: a model trained on one building or one chiller may not transfer to another without retraining (Lu et al., 2025). The black-box nature of deep models limits the trust of engineers and operators, who need to understand why a fault was flagged or why a setpoint was changed (Aghili et al., 2025; Bi et al., 2024). Finally, integrating new controllers with legacy building management systems and their communication protocols is a practical barrier that appears in four reviews (Aghili et al., 2025; Felez & Felez, 2026; Himeur et al., 2023; Lu et al., 2025).

4.2. How to read reported savings

Reported savings vary widely. Figure 6 shows the typical values given in one recent review for different control categories, ranging from 5% for occupancy-aware control to 44.4% for AI-assisted control in general. Across studies, the full range is even wider, from about 5% to 70%, and is explained by differences in climate, insulation and the baseline against which savings are measured (Felez & Felez, 2026). Another review gives a range of 6–73% for AI-based HVAC optimization (Lu et al., 2025).

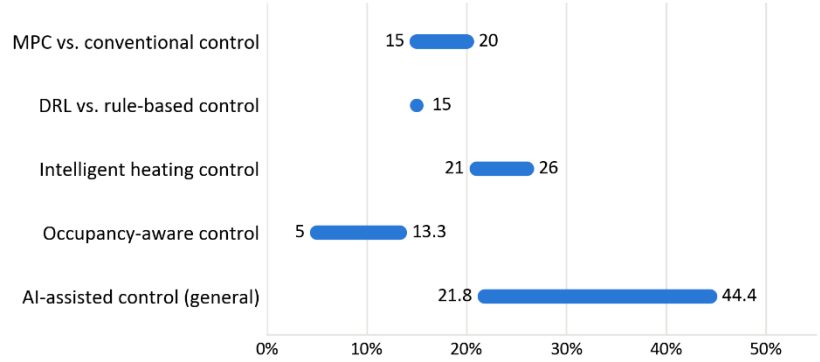


Figure 6. Typical energy savings reported for different HVAC control categories (data from Felez & Felez (2026)).

Three observations follow. First, the baseline matters as much as the method: a saving relative to a poorly tuned rule-based controller is not comparable to one relative to a well-commissioned system. Second, figures can differ within a single source. The review behind Figure 6 reports 15% for DRL in its summary table but 15–35% in the text, and 5–13.3% for occupancy-aware control in the table but 19–45% elsewhere (Felez & Felez, 2026). Third, field results are lower than simulated ones. A pre-trained DRL controller for residential houses achieved about 30% cost reduction in simulation but at most 21% in real deployment (Felez & Felez, 2026; Kurte et al., 2020). Statements such as "savings of up to 40%" (Aghili et al., 2025) should therefore be read as upper bounds reported in the literature rather than as expected values for a new installation.

4.3. Trust: explainable, physics-informed and hybrid models

For AI to be accepted in engineering practice, operators must be able to check its reasoning. Two complementary routes are visible in the reviews. Explainable AI methods such as SHAP, LIME and class activation mapping attach explanations to the outputs of existing models (Aghili et al., 2025; Bi et al., 2024); SHAP has already been used to interpret tree-based FDD models (Bi et al., 2024). Physics-informed and hybrid models build engineering knowledge into the model itself, for example through grey-box structures or physics-informed neural networks, which have rarely been applied to HVAC FDD so far (Bi et al., 2024). The two routes can be combined. As an example from the author's own work, interpretable machine learning was used to predict the coefficient of performance of vapor compression cycles with low-GWP refrigerants, with SHAP analysis relating the predictions to the thermodynamic drivers in NIST experimental data (Arbak, 2026).

4.4. Limitations of this review

This review has several limitations. It relies on a single database, Scopus, and the bibliometric counts are based on term matching in titles, abstracts and keywords, without relevance screening; the term lists are deliberately narrow and do not include, for example, chillers, heat pumps or model predictive control in the counting query. The reviews were selected purposively rather than through exhaustive screening, and only seven were synthesized. Primary studies are cited as reported by the reviews; their full texts were not re-examined. Finally, 2026 is a partial year and Scopus indexing continues after publication, so the most recent counts will rise.

5. CONCLUSION AND FUTURE PERSPECTIVES

This paper synthesized seven reviews and the primary studies they report to describe how AI is applied in the HVAC sector. The number of Scopus records combining HVAC and AI terms grew about fifteen-fold between 2010 and 2025. Four conclusions stand out.

First, the applications have matured unevenly. Fault detection and diagnosis and control are the most developed areas, with reported accuracies often above 90% on laboratory FDD datasets and typical energy savings of 15–20% for MPC, but most of the evidence still comes from simulation or from single datasets. Second, data rather than algorithms is the bottleneck: six of the seven reviews name data quality and scarcity, and forecasting studies give far more attention to algorithms than to the data pipeline that consumes most of the effort. Third, reported savings must be read together with their baselines, and the gap between simulated and field performance, for example about 30% versus at most 21% for a pre-trained DRL controller, should be expected rather than treated as an exception. Fourth, trust is a precondition for adoption, and it requires models that engineers can interpret and check.

Several directions follow for future work. Explainable AI and physics-informed or hybrid models can make data-driven tools acceptable to engineers. Digital twins can provide safe environments for training and testing controllers before deployment. Transfer and federated learning can reduce the data needed for each new building while protecting occupant privacy. Grid-interactive operation, in which HVAC loads are coordinated with photovoltaics, storage and tariffs, will require controllers that can handle several objectives at once. Shared benchmark datasets and a common reporting format, as proposed for load forecasting (L. Zhang et al., 2021), would make results comparable. Finally, the transition to low-GWP refrigerants changes the thermodynamic behavior of chillers and heat pumps, and interpretable data-driven models of these systems (Arbak, 2026) offer a natural link between AI and refrigeration engineering.

REFERENCES

Aghili, S. A., Haji Mohammad Rezaei, A., Tafazzoli, M., Khanzadi, M., & Rahbar, M. (2025). Artificial intelligence approaches to energy management in HVAC systems: A systematic review. *Buildings*, *15*(7), 1008. https://doi.org/10.3390/buildings15071008

Ahmad, M. W., Mourshed, M., Yuce, B., & Rezgui, Y. (2016). Computational intelligence techniques for HVAC systems: A review. *Building Simulation*, *9*(4), 359–398. https://doi.org/10.1007/s12273-016-0285-4

Albayati, M. G., Faraj, J., Thompson, A., Patil, P., Gorthala, R., & Rajasekaran, S. (2023). Semi-supervised machine learning for fault detection and diagnosis of a rooftop unit. *Big Data Mining and Analytics*, *6*(2), 170–184. https://doi.org/10.26599/bdma.2022.9020015

Arbak, A. (2026). Interpretable machine learning for COP prediction in vapour compression cycles with low-GWP refrigerants: A SHAP-based analysis of NIST experimental data. *International Journal of Refrigeration*, *192*, 107130. https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2026.107130

Bengea, S. C., Kelman, A. D., Borrelli, F., Taylor, R., & Narayanan, S. (2014). Implementation of model predictive control for an HVAC system in a mid-size commercial building. *HVAC&R Research*, *20*(1), 121–135. https://doi.org/10.1080/10789669.2013.834781

Bi, J., Wang, H., Yan, E., Wang, C., Yan, K., Jiang, L., & Yang, B. (2024). AI in HVAC fault detection and diagnosis: A systematic review. *Energy Reviews*, *3*(2), 100071. https://doi.org/10.1016/j.enrev.2024.100071

Chakraborty, D., & Elzarka, H. (2019). Early detection of faults in HVAC systems using an XGBoost model with a dynamic threshold. *Energy and Buildings*, *185*, 326–344. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.12.032

Chou, J.-S., & Ngo, N.-T. (2016). Time series analytics using sliding window metaheuristic optimization-based machine learning system for identifying building energy consumption patterns. *Applied Energy*, *177*, 751–770. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.05.074

Du, Y., Zandi, H., Kotevska, O., Kurte, K., Munk, J., Amasyali, K., Mckee, E., & Li, F. (2021). Intelligent multi-zone residential HVAC control strategy based on deep reinforcement learning. *Applied Energy*, *281*, 116117. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.116117

Fan, C., Liu, X., Xue, P., & Wang, J. (2021). Statistical characterization of semi-supervised neural networks for fault detection and diagnosis of air handling units. *Energy and Buildings*, *234*, 110733. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110733

Felez, R., & Felez, J. (2026). Intelligent HVAC control in residential buildings: A review of advanced techniques and AI applications. *Applied Sciences*, *16*(4), 2006. https://doi.org/10.3390/app16042006

Ferreira, P. M., Ruano, A. E., Silva, S., & Conceição, E. Z. E. (2012). Neural networks based predictive control for thermal comfort and energy savings in public buildings. *Energy and Buildings*, *55*, 238–251. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.08.002

Finck, C., Li, R., & Zeiler, W. (2019). Economic model predictive control for demand flexibility of a residential building. *Energy*, *176*, 365–379. https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.03.171

Gao, G., Li, J., & Wen, Y. (2020). DeepComfort: Energy-efficient thermal comfort control in buildings via reinforcement learning. *IEEE Internet of Things Journal*, *7*(9), 8472–8484. https://doi.org/10.1109/jiot.2020.2992117

Han, H., Zhang, Z., Cui, X., & Meng, Q. (2020). Ensemble learning with member optimization for fault diagnosis of a building energy system. *Energy and Buildings*, *226*, 110351. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.110351

Himeur, Y., Elnour, M., Fadli, F., Meskin, N., Petri, I., Rezgui, Y., Bensaali, F., & Amira, A. (2023). AI-big data analytics for building automation and management systems: A survey, actual challenges and future perspectives. *Artificial Intelligence Review*, *56*(6), 4929–5021. https://doi.org/10.1007/s10462-022-10286-2

Hou, F., Cheng, J. C. P., Ma, J., Kwok, H. H. L., Huang, C., & Wu, Z. (2025). Occupancy-driven HVAC control optimization via LSTM and deep reinforcement learning for enhanced indoor air quality, thermal comfort and energy efficiency. *Building and Environment*, *284*, 113501. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113501

Kurte, K., Munk, J., Kotevska, O., Amasyali, K., Smith, R., McKee, E., Du, Y., Cui, B., Kuruganti, T., & Zandi, H. (2020). Evaluating the adaptability of reinforcement learning based HVAC control for residential houses. *Sustainability*, *12*(18), 7727. https://doi.org/10.3390/su12187727

Kusiak, A., Xu, G., & Tang, F. (2011). Optimization of an HVAC system with a strength multi-objective particle-swarm algorithm. *Energy*, *36*(10), 5935–5943. https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.08.024

Lee, Z., Gupta, K., Kircher, K. J., & Zhang, K. M. (2019). Mixed-integer model predictive control of variable-speed heat pumps. *Energy and Buildings*, *198*, 75–83. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.05.060

Li, G., Chen, L., Liu, J., & Fang, X. (2023). Comparative study on deep transfer learning strategies for cross-system and cross-operation-condition building energy systems fault diagnosis. *Energy*, *263*, 125943. https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125943

Li, Y., & Tong, Z. (2021). Model predictive control strategy using encoder-decoder recurrent neural networks for smart control of thermal environment. *Journal of Building Engineering*, *42*, 103017. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103017

Liao, C., Miyata, S., Qu, M., & Akashi, Y. (2025). Year-round operational optimization of HVAC systems using hierarchical deep reinforcement learning for enhancing indoor air quality

and reducing energy consumption. *Applied Energy*, *390*, 125816. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2025.125816

Liu, J., Li, G., Chen, H., Wang, J., Guo, Y., & Li, J. (2017). A robust online refrigerant charge fault diagnosis strategy for VRF systems based on virtual sensor technique and PCA-EWMA method. *Applied Thermal Engineering*, *119*, 233–243. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.03.074

Liu, X., Li, Y., Liu, X., & Shen, J. (2018). Fault diagnosis of chillers using very deep convolutional network. *2018 Chinese Automation Congress (CAC)*, 1274–1279. https://doi.org/10.1109/cac.2018.8623749

Lu, S., Zhou, S., Ding, Y., Kim, M. K., Yang, B., Tian, Z., & Liu, J. (2025). Exploring the comprehensive integration of artificial intelligence in optimizing HVAC system operations: A review and future outlook. *Results in Engineering*, *25*, 103765. https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103765

Mossolly, M., Ghali, K., & Ghaddar, N. (2009). Optimal control strategy for a multi-zone air conditioning system using a genetic algorithm. *Energy*, *34*(1), 58–66. https://doi.org/10.1016/j.energy.2008.10.001

Nassif, N., Kajl, S., & Sabourin, R. (2005). Optimization of HVAC control system strategy using two-objective genetic algorithm. *HVAC&R Research*, *11*(3), 459–486. https://doi.org/10.1080/10789669.2005.10391148

Ning, M., & Zaheeruddin, M. (2010). Neuro-optimal operation of a variable air volume HVAC&R system. *Applied Thermal Engineering*, *30*(5), 385–399. https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2009.10.009

Wang, S., & Xiao, F. (2004). AHU sensor fault diagnosis using principal component analysis method. *Energy and Buildings*, *36*(2), 147–160. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2003.10.002

Yang, S., Wan, M. P., Chen, W., Ng, B. F., & Dubey, S. (2020). Model predictive control with adaptive machine-learning-based model for building energy efficiency and comfort optimization. *Applied Energy*, *271*, 115147. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115147

Yang, S., Wan, M. P., Chen, W., Ng, B. F., & Dubey, S. (2021). Experiment study of machine-learning-based approximate model predictive control for energy-efficient building control. *Applied Energy*, *288*, 116648. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116648

Yao, W., Li, D., & Gao, L. (2022). Fault detection and diagnosis using tree-based ensemble learning methods and multivariate control charts for centrifugal chillers. *Journal of Building Engineering*, *51*, 104243. https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.104243

Yu, Z., Haghighat, F., Fung, B. C. M., & Yoshino, H. (2010). A decision tree method for building energy demand modeling. *Energy and Buildings*, *42*(10), 1637–1646. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.04.006

Zhang, L., Wen, J., Li, Y., Chen, J., Ye, Y., Fu, Y., & Livingood, W. (2021). A review of machine learning in building load prediction. *Applied Energy*, *285*, 116452. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.116452

Zhang, S., Zhu, X., Anduv, B., Jin, X., & Du, Z. (2021). Fault detection and diagnosis for the screw chillers using multi-region XGBoost model. *Science and Technology for the Built Environment*, *27*(5), 608–623. https://doi.org/10.1080/23744731.2021.1877966

Zhong, C., Yan, K., Dai, Y., Jin, N., & Lou, B. (2019). Energy efficiency solutions for buildings: Automated fault diagnosis of air handling units using generative adversarial networks. *Energies*, *12*(3), 527. https://doi.org/10.3390/en12030527

SARI KANTARON YAĞI (*HYPERICUM PERFORATUM* L.) İÇEREN ELEKTROSPUN PA66 NANOLİFLERİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

Doç. Dr. Yusuf YILMAZ
Gaziantep University, N. Topçuoğlu Vocational School, Department of Chemistry and Chemical Processing technologies, 27310, Gaziantep, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-4363-0427
Mustafa HAYTA
Gaziantep University, N. Topçuoğlu Vocational School, Department of Chemistry and Chemical Processing technologies, 27310, Gaziantep, Türkiye
ORCID ID: 0009-0005-7830-4850
Ayşenur KOÇ
Gaziantep University, N. Topçuoğlu Vocational School, Department of Chemistry and Chemical Processing technologies, 27310, Gaziantep, Türkiye
ORCID ID: 0009-0009-7719-1494

ÖZET
Bu çalışmada, sarı kantaron yağı (*Hypericum perforatum* L., HP) içeren poliamid 66 (PA66) nanolifler elektrospinning yöntemi kullanılarak başarıyla üretilmiştir. Farklı konsantrasyonlarda HP yağı içeren nanolifler (HP1%, HP5%, HP10% ve HP20%) hazırlanmış ve Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi, alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FESEM) ve termal analiz yöntemleri kullanılarak kapsamlı bir şekilde karakterize edilmiştir. Elde edilen nanoliflerin çapları, FESEM görüntülerinin Image*J* görüntü işleme yazılımı kullanılarak analiz edilmesiyle belirlenmiştir. FESEM altında elde edilen mikrograflar, üretilen liflerin düzgün, sürekli ve boncuksuz (beadsiz) bir morfolojiye sahip olduğunu doğrulamıştır. FTIR analizi, HP yağı ile PA66 matrisi arasındaki kimyasal etkileşimlerin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilirken, termal analizler kompozit nanoliflerin termal kararlılığını ve bozunma davranışını değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, nanoliflerin morfolojik, yapısal ve termal özelliklerinin HP yağı içeriğinden etkilendiğini göstermiştir. Sonuçlar, sarı kantaron yağının elektrospinning prosesini olumsuz yönde etkilemeden PA66 nanolif yapısına başarılı bir şekilde dahil edilebildiğini ve elde edilen nanolifli yapıların homojen ve potansiyel biyolojik aktiviteye sahip olduğunu ortaya koymuştur. *Hypericum perforatum* L.'nin antiinflamatuvar, antimikrobiyal, yara iyileştirici ve antioksidan özellikleri dikkate alındığında, bu biyouyumlu nanoliflerin özellikle diyabetik ayak yaraları olmak üzere çeşitli biyomedikal uygulamalarda önemli bir potansiyel taşıdığı değerlendirilmektedir. Bu çalışma, doğal bitkisel yağlar kullanılarak fonksiyonel nanolif yapıların geliştirilmesinde basit ve çok yönlü bir yöntem olan elektrospinning tekniğinin kullanılabileceğini ortaya koymaktadır.

Anahtar Kelimeler: Elektrospinning, PA66 nanolifler, sarı kantaron yağı, yara iyileşmesi, diyabetik ayak yaraları, biyomedikal uygulamalar

FABRICATION AND CHARACTERIZATION OF ELECTROSPUN PA66 NANOFIBERS INCORPORATED WITH ST. JOHN'S WORT OIL (*HYPERICUM PERFORATUM* L.) FOR BIOMEDICAL APPLICATIONS

ABSTRACT

In this work, polyamide 66 (PA66) nanofibers loaded with St. John's wort oil (*Hypericum perforatum* L., HP) were successfully fabricated using the electrospinning technique. Nanofibers with various concentrations of HP oil (HP1%, HP5%, HP10% and HP20%) were produced and thoroughly characterized by Fourier Transform Infra-red (FTIR) spectroscopy, field emission scanning electron microscopy (FESEM), and thermal analysis methods. The diameter of the nanofibers obtained was measured by using the image*J* software of the FESEM images. The micrographs taken under FESEM confirmed the uniform, continuous and bead free production of fibers. FTIR analysis was performed to investigate the chemical interaction between the HP oil and the PA66 matrix, and thermal analysis is used to study the thermal stability and degradation behaviour of the composite nanofibers. The morphological, structural and thermal properties of the nanofibers were found to be affected by the HP oil content. The results confirmed that the incorporation of the oil of St. John's wort into PA66 nanofibers was effective without affecting the process of electrospinning and the resulting nanofibrous mats were homogeneous, with potential bioactivity. The Anti-inflammatory, Antimicrobial, Wound healing and Antioxidant activities of *Hypericum perforatum* L. make these biocompatible nanofibers great potential in biomedical applications especially for diabetic foot wounds. This study has shown the potential of using a simple and versatile electrospinning method to create functional nanofibers using natural plant oils.

Keywords: Electrospinning, PA66 nanofibers, St. John's wort oil, wound healing, diabetic foot wounds, biomedical applications

1. INTRODUCTION

Electrospinning is a simple and versatile method that can be used to prepare continuous polymeric micro- and nanofibers possessing large surface areas, interconnected porous structure, and controllable morphology. The nanofibrous membrane exhibits these properties, which are beneficial for different biomedical applications such as wound dressings, tissue engineering, drug delivery, and development of bioactive materials. The fibrous structure of electrospun membranes, in particular, can offer a good microenvironment for cell adhesion and tissue regeneration, in addition to being used to incorporate bioactive agents into the polymer matrix (Xue et al., 2019).

Polyamide 66 (PA66) (also called nylon 6,6) is a high performance polymer with good mechanical strength, thermal stability, chemical resistance and durability. The properties of PA66 make it an attractive polymer to produce functional nanofibrous structures. It has already been shown that nylon 6,6 is a material that can be electrospun with success to obtain nanofibers with controllable morphology and mechanical properties (Zussman et al., 2006). The biomedical and bioengineering applications of electrospun PA66 structures have also been studied. In particular, hierarchical electrospun nylon 6,6 assemblies were designed to develop fibrous structures and mechanical properties similar to tendons and ligaments, showcasing the potential of PA66 nanofibers in tissue-related applications (Sensini et al., 2019). The high surface area of electrospun nylon 6,6 membranes further offers chances for incorporation or immobilization of functional molecules and bioactive agents.

St. John's wort or Hypericum perforatum L. is a medicinal plant that has been traditionally used for wounds, burns and inflammatory skin conditions. Several phytochemicals have been

associated with its biological activity, such as hypericin, hyperforin, flavonoids, and phenolics. In recent literature, the antioxidant, antimicrobial, anti-inflammatory and wound healing activities of H. perforatum and its preparations have been highlighted (Farasati Far et al., 2024). Experimental research has also shown the wound healing activity of compound preparation of H. perforatum in animal model which has been corroborated with the traditional usage of H. perforatum in topical treatment of wounds (Süntar et al., 2010).
In this research, PA66 nanofibers with various amounts of St. John's wort oil (H. perforatum L.) were prepared. These were made by electrospinning (HP1%, HP5%, HP10%, and HP20%). FESEM, FTIR spectroscopy and thermal analysis were employed to study the effect of HP oil incorporation on the morphology, chemical structure and thermal behavior of the nanofibers. The diameters of the fibres were quantified from the FESEM images by ImageJ software. The primary aim was to determine the feasibility of achieving a uniform and continuous fibrous structure in the St. John's wort oil-containing PA66 nanofibers for future development of naturally origin nanofibrous materials for biomedical applications such as wound-care.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Materials and Equipment

Polyamide 66 (PA66, Mw ~ 25,000 g/mol) pellets and formic acid (98–100%) were procured from Sigma-Aldrich (USA). The Hypericum perforatum (HP) oil was obtained through cold-press extraction from botanical materials gathered in the Mersin area (Türkiye) and sourced from a local market. Fourier transform infrared (FTIR) spectra were obtained within the range of 4000–400 cm^{-1} utilizing a PerkinElmer spectrometer fitted with an attenuated total reflectance (ATR) accessory. Nanofiber fabrication was executed utilizing a Basic System electrospinning apparatus (Inovenso, Türkiye). The morphology of the electrospun nanofibers was analyzed using a ZEISS Gemini SEM 300 field-emission scanning electron microscope (FE-SEM), and the mean fiber diameters were calculated with ImageJ software. Thermogravimetric analysis (TGA) was conducted using a SII TG/DTA 6300 thermal analyzer.

2.2. Preparation of Functional Nanofibers

Pure PA66 nanofibers were obtained by the dissolution of PA66 pellets in analytical grade formic acid at 14% (w/v) concentration for 4 h with the aid of orbital shaking at 70 °C. For the preparation of HP loaded PA66 nanofibers, different proportions of HP oil (1, 5, 10, and 20 wt% to the polymer) were mixed in the PA66 solution and stirred for another 24 h at room temperature to mix the solution homogeneously. The optimal conditions for the electrospinning process were found to be a voltage of 20 kV, TCD of 15 cm and solution flow rate of 15 µL/min. Each solution was placed in a 10 mL plastic syringe equipped with a metallic nozzle with an inner diameter of 0.5 mm and was introduced into a syringe pump for the electrospinning process. Under controlled ambient conditions, electrospinning was carried out at room temperature with a relative humidity of 45%.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The vibrations of the functional groups in the chemical structure of the nanofibers were characterized by FTIR analysis. The FTIR spectra of HP oil, pure PA66 and HP-20%/PA66 nanofibers are displayed in Fig. 1 as an example. The characteristic functional groups of both HP and PA66 were observed in the spectra, indicating that the electrospinning process did not affect the chemical structure of both components, and thus HP was successfully integrated into the PA66 nanofiber matrix. The band at 2854 cm^{-1} was found as a result of the symmetric stretching mode of the $–CH_3$ group and the band at 2924 cm^{-1} was the result of the asymmetric stretching mode of the $–CH_2$ group. The band at 1743 cm^{-1} was a strong band and the absorption

band was attributed to the carbonyl (C=O) stretching mode of the triglycerides and fatty acid ester group in the oil composition. There are many reports in the literature of similar characteristic bands for vegetable oils and essential oil derived compounds. The bands in 1000–1500 cm^{-1} region were correlated with C–O and C–C stretching vibration which is due to the presence of oxygen containing functional groups in the oil components (Alshuiael & Al-Ghouti, 2020).

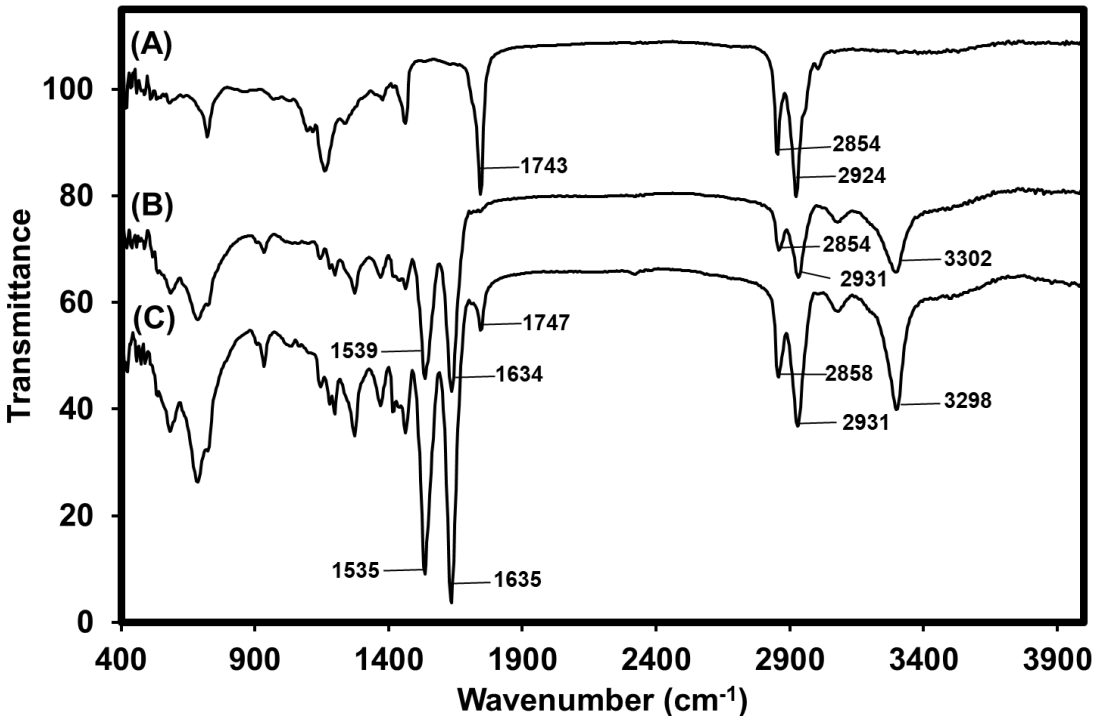


Fig. 1. FTIR spectra of (A) HP oil, (B) pure PA66 and HP-20%/PA66 nanofibers

FESEM was used to investigate the surface morphology and fiber diameter distributions of pure PA66 and PA66 nanofibers containing different amounts (1%, 5%, 10%, and 20%) of HP oil. The fiber diameters of 70 randomly selected fibers from each image were measured, averaged, and plotted as histograms using ImageJ software (Hotaling et al., 2015). The pure PA66 nanofibers were found to be smooth, cylindrical and with little variance in diameter (44 ± 9 nm) as shown in Fig. 2A and B. No significant difference in morphology was found, and the diameters of fibers from HP1%/PA66 were also found to be defect-free, and of similar distribution as the pure PA66. This indicates that the low loading HP has been uniformly dispersed in the polyamide matrix, which is important to ensure uniform fibers manufacturing process without affecting the fibers integrity as previously reported (Lencova et al., 2022) for low amount of bioactive in the polyamide matrix.

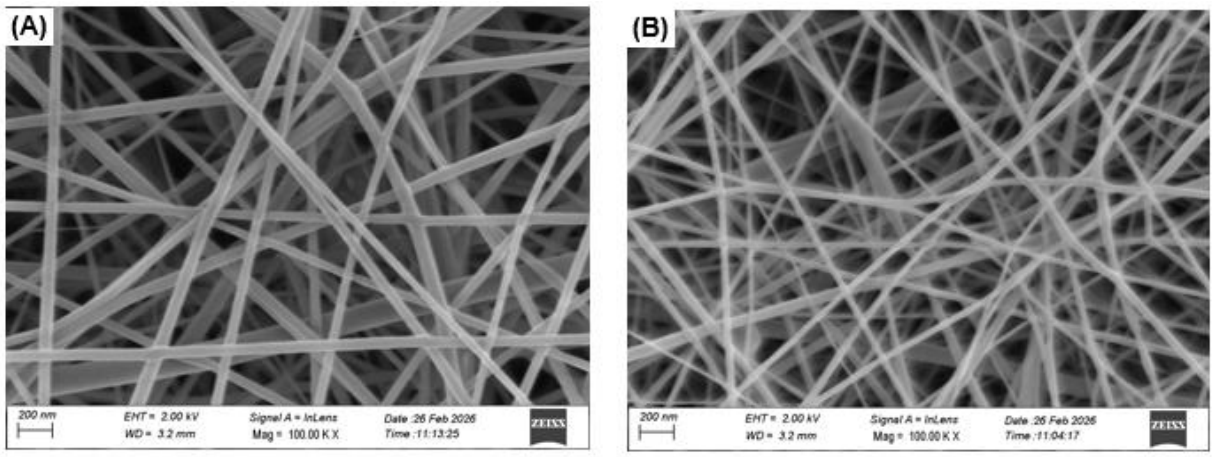


Fig. 2. FESEM images of (A) pure PA66 and (B) HP1%/PA66 nanofibers.

Thermal behaviors of pure PA66 and HP oil embedded PA66 electrospun nanofibers were systematically investigated by TGA, DTG and DTA analysis with the aim of understanding the effect of concentration of HP oil on thermal stability of PA66 nanofibers (Fig. 3) (Kahraman, 2024; Yılmaz et al., 2026). The thermograms clearly show that incorporation of HP strongly changes degradation profile of PA66 depending on the concentration. Pure PA66 has high thermal stability and very low mass loss up to 120 °C which is associated with the evaporation of physically adsorbed moisture. In the higher temperature range, a single degradation step is seen, which is characteristic of polymer backbones of polyamides, and is associated with random chain scission and depolymerization of amide bonds (Esenoğlu et al., 2023). The overall thermal properties of the nanofibers of HP-1%/PA66 are similar to pure PA66 and the early-stage mass loss is slightly greater. This behavior is a sign of the absence of any damage on the polymer matrix caused by low HP oil loading and suggests that low loading of HP oil may actually form weak stabilizing interactions, such as hydrogen bonding between the polar functional groups of the HP oil and PA66 chains. Hence, the major degradation process is easily identified and is primarily a function of the polymer backbone.

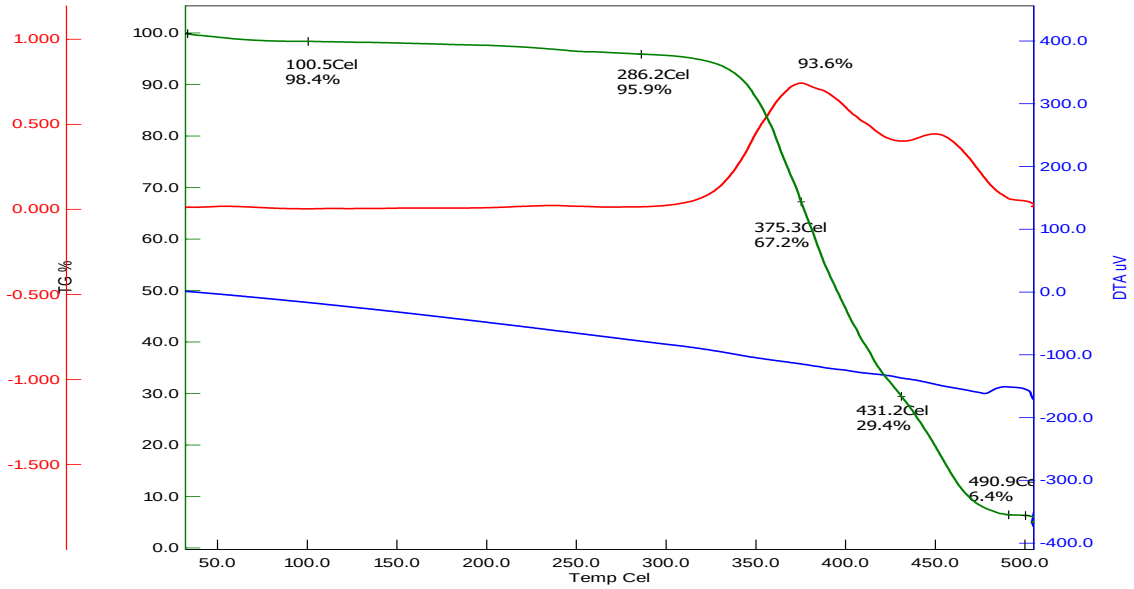


Fig. 3. Thermograms of HP1%/PA66 nanofibers.

4. CONCLUSIONS

The nanofibers of PA66 with different concentrations of St. John's wort oil (HP1%,5%, 10%, and 20%) were successfully electrospun in this study. The continuous, uniform and bead free nanofibrous structures were confirmed by FESEM images and the HP oil influenced the morphological properties and fiber diameter. FTIR analysis showed interactions between the incorporated plant oil and PA66, while the thermal analysis revealed changes in the thermal behavior of the nanofibers as a result of the addition of HP. In general, the results showed that St. John's wort oil could be added to the PA66 nanfibers without compromise to the formation of the homogeneous fibrous mats. Based on the wound healing, antioxidant, antimicrobial and anti-inflammatory effects reported in the case of H. perforatum, the nanofibrous materials are a promising platform for future biomedical applications, as wound-care materials and even diabetic wound dressings. More research is needed to evaluate their antimicrobial properties, antioxidant activity, cytocompatibility and in vivo/in vitro wound healing properties for their biomedical use.

REFERENCES

Alshuiael, S. M., & Al-Ghouti, M. A. (2020). Multivariate analysis for FTIR in understanding treatment of used cooking oil using activated carbon prepared from olive stone. *PLOS ONE*, *15*(5), e0232997. https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0232997

Esenoğlu, G., Tanoğlu, M., Barisik, M., İplikçi, H., Yeke, M., Nuhoğlu, K., Türkdoğan, C., Martin, S., Aktaş, E., Dehneliler, S., Gürbüz, A. A., & İriş, M. E. (2023). Investigating the Effects of PA66 Electrospun Nanofibers Layered within an Adhesive Composite Joint Fabricated under Autoclave Curing. *ACS Omega*, *8*(36), 32656–32666. https://doi.org/10.1021/ACSOMEGA.3C03419

Farasati Far, B., Gouranmohit, G., Naimi-jamal, M. R., Neysani, E., El-Nashar, H. A. S., El-Shazly, M., & Khoshnevisan, K. (2024). The potential role of <scp> *Hypericum perforatum* </scp> in wound healing: A literature review on the phytochemicals, pharmacological approaches, and mechanistic perspectives. *Phytotherapy Research*, *38*(7), 3271–3295. https://doi.org/10.1002/ptr.8204

Hotaling, N. A., Bharti, K., Kriel, H., & Simon, C. G. (2015). Dataset for the validation and use of DiameterJ an open source nanofiber diameter measurement tool. *Data in Brief*, *5*, 13–22. https://doi.org/10.1016/J.DIB.2015.07.012

Kahraman, H. T. (2024). Fabrication of electrospun PA66 nanofibers loaded with biosynthesized silver nanoparticles: investigation of dye degradation and antibacterial activity. *Environmental Science and Pollution Research 2024 31:40*, *31*(40), 53121–53134. https://doi.org/10.1007/S11356-024-34763-Z

Lencova, S., Stiborova, H., Munzarova, M., Demnerova, K., & Zdenkova, K. (2022). Potential of Polyamide Nanofibers With Natamycin, Rosemary Extract, and Green Tea Extract in Active Food Packaging Development: Interactions With Food Pathogens and Assessment of Microbial Risks Elimination. *Frontiers in Microbiology*, *13*, 857423. https://doi.org/10.3389/FMICB.2022.857423

Sensini, A., Gotti, C., Belcari, J., Zucchelli, A., Focarete, M. L., Gualandi, C., Todaro, I., Kao, A. P., Tozzi, G., & Cristofolini, L. (2019). Morphologically bioinspired hierarchical nylon 6,6 electrospun assembly recreating the structure and performance of tendons and ligaments. *Medical Engineering & Physics*, *71*(1), 79–90. https://doi.org/10.1016/j.medengphy.2019.06.019

Süntar, I. P., Akkol, E. K., Yılmazer, D., Baykal, T., Kırmızıbekmez, H., Alper, M., & Yeşilada,

E. (2010). Investigations on the in vivo wound healing potential of Hypericum perforatum L. *Journal of Ethnopharmacology*, *127*(2), 468–477. https://doi.org/10.1016/j.jep.2009.10.011

Xue, J., Wu, T., Dai, Y., & Xia, Y. (2019). Electrospinning and Electrospun Nanofibers: Methods, Materials, and Applications. *Chemical Reviews*, *119*(8), 5298–5415. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.8b00593

Yılmaz, Y., Kılıçarslan, F. A., Erdoğmuş, A., Gonca, S., Ermiş, E., & Özdemir, S. (2026). Multifunctional Bioactive Nanofibers: Harnessing Metallophthalocyanines for Superior Antimicrobial and Photodynamic Therapy. *ChemistrySelect*, *11*(5), e06517. https://doi.org/10.1002/SLCT.202506517

Zussman, E., Burman, M., Yarin, A. L., Khalfin, R., & Cohen, Y. (2006). Tensile deformation of electrospun nylon-6,6 nanofibers. *Journal of Polymer Science Part B: Polymer Physics*, *44*(10), 1482–1489. https://doi.org/10.1002/polb.20803

SULU KEKİK EKSTRESİ İÇEREN ELEKTROSPUN PVA NANOLİFLERİN ÜRETİMİ VE KARAKTERİZASYONU

Doç. Dr. Yusuf YILMAZ
Gaziantep University, N. Topçuoğlu Vocational School, Department of Chemistry and Chemical Processing technologies, 27310, Gaziantep, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-4363-0427
Mustafa HAYTA
Gaziantep University, N. Topçuoğlu Vocational School, Department of Chemistry and Chemical Processing technologies, 27310, Gaziantep, Türkiye
ORCID ID: 0009-0005-7830-4850
Ayşenur KOÇ
Gaziantep University, N. Topçuoğlu Vocational School, Department of Chemistry and Chemical Processing technologies, 27310, Gaziantep, Türkiye
ORCID ID: 0009-0009-7719-1494

ÖZET
Bu çalışmada, sulu kekik (T) ekstresi içeren poli(vinil alkol) (PVA) nanolifler elektrospinning yöntemi kullanılarak üretilmiştir. Farklı oranlarda kekik ekstresi içeren nanolifler (T1%, T5%, T10% ve T20%) hazırlanmış ve Fourier dönüşümlü kızılötesi (FTIR) spektroskopisi, alan emisyonlu taramalı elektron mikroskobu (FESEM) ve termal analiz yöntemleri kullanılarak kapsamlı bir şekilde karakterize edilmiştir. Nanoliflerin çapları, FESEM görüntülerinin ImageJ görüntü işleme yazılımı kullanılarak analiz edilmesiyle belirlenmiştir. FESEM görüntüleri, üretilen liflerin düzgün, sürekli ve boncuksuz (beadsiz) bir morfolojiye sahip olduğunu göstermiştir. FTIR analizi, kekik ekstresi ile PVA matrisi arasındaki kimyasal etkileşimlerin incelenmesi amacıyla gerçekleştirilirken, termal analizler kompozit nanoliflerin termal kararlılığını ve termal bozunma davranışını değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, nanoliflerin morfolojik ve yapısal özelliklerinin ilave edilen kekik ekstresi miktarından etkilendiğini göstermiştir. Sulu kekik ekstresinin elektrospinning prosesini olumsuz yönde etkilemeden PVA nanolif yapısına dahil edilebildiği ve potansiyel olarak biyolojik aktivite gösterebilen homojen lifli yapılar oluşturduğu belirlenmiştir. Kekiğin sahip olduğu antimikrobiyal, antioksidan ve antiinflamatuvar özellikler dikkate alındığında, çevre dostu ve biyouyumlu nitelikteki bu nanoliflerin yara örtüleri, doku mühendisliği iskeleleri ve ilaç taşıma sistemleri gibi çeşitli biyomedikal uygulamalarda önemli bir potansiyel taşıdığı düşünülmektedir. Bu çalışma, doğal bir bitki kaynağından elde edilen kekik ekstresinin, basit ve çok yönlü bir üretim yöntemi olan elektrospinning prosesi kullanılarak işlevsel nanolif yapıların geliştirilmesinde değerlendirilebileceğini ortaya koymaktadır.
Anahtar Kelimeler: Elektrospinning, PVA nanolifler, kekik ekstresi, FESEM, FTIR, termal analiz, biyomedikal uygulamalar

FABRICATION AND CHARACTERIZATION OF ELECTROSPUN PVA NANOFIBERS INCORPORATED WITH AQUEOUS THYME EXTRACT FOR BIOMEDICAL APPLICATIONS

ABSTRACT
Polyvinyl alcohol (PVA) nanofibers containing aqueous thyme (T) extract were obtained by the electrospinning method in this study. The nanofibers with various concentrations of thyme extract (T1%, T5%, T10%, and T20%) were produced and thoroughly characterized using Fourier transform infrared (FTIR) spectroscopy, field-emission scanning electron microscopy (FESEM) and thermal analysis methods. The diameter of the nanofibers was measured using the image processing software ImageJ by using FESEM images. The micrographs taken from the FESEM showed that the fibers produced were uniform, continuous and bead free. FTIR analysis was used to study the chemical interactions between thyme extract and PVA matrix and the thermal analysis was used to study the thermal stability and thermal degradation behavior of the composite nanofibers. It was found that the morphological and structural characteristics of the nanofibers were affected by the percentage of thyme extract added. The results showed that aqueous thyme extract could be added to PVA nanofibers without interfering with the electrospinning process and resulted in homogenous fibrous mats that can be potentially bioactive. Given the antimicrobial, antioxidant, and anti-inflammatory properties of thyme, these eco-friendly and biocompatible nanofibers offer great promise for numerous biomedical applications such as wound dressings, tissue engineering scaffolds, and drug delivery systems. This study demonstrates the possibility of creating efficient nanofibers from natural plant source using simple and versatile electrospinning process.
Keywords: Electrospinning, PVA nanofibers, thyme extract, FESEM, FTIR, thermal analysis, biomedical applications

1. INTRODUCTION
Electrospinning is a simple and versatile method for the fabrication of continuous micro and nanofibers from polymeric solutions or melts in the presence of a high electric field. The resulting nanofibrous structures have high surface-area-to-volume ratio, interconnected porous structures, tunable fiber diameter, and functional molecules that can be incorporated in the fiber matrix. Nanofibers with the above-mentioned characteristics have been used for various biomedical applications such as wound dressings, tissue engineering scaffolds, drug delivery systems, and biosensors (Kamoun et al., 2021; Türkoğlu et al., 2024).
Poly(vinyl alcohol) (PVA) is a water-soluble synthetic polymer compound, which has been given a lot of attention in electrospinning biomedical applications due to its biocompatibility, hydrophilicity, low toxicity, good film forming property, and mechanical properties. Numerous hydroxyl groups on the backbone of PVA also offer possibilities for interactions with other bioactive compounds, and for the modification of PVA-based materials. In recent years, electrospun PVA nanofibers with controlled morphology and functional characteristics have been demonstrated by changing the polymer concentration, solution characteristics, applied voltage, flow rate, distance between the tip and the collector, and environmental conditions. The use of PVA electrospun membranes has grown in the biomedical area such as wound management, controlled drug delivery, tissue engineering, etc., due to these features.
The use of naturally derived bioactive substances incorporated into polymeric matrices electrospun is an important approach to the development of multifunctional bio-materials. The extracts of the plants are rich in complex mixtures of phenolics, flavonoids, terpenoids, and

other secondary metabolites which can offer antioxidant, antimicrobial, anti-inflammatory, and various other biological activities. Thus, the plant-derived compounds can be encapsulated in nanofibers, enhancing the structural properties of nanofibrous membranes and simultaneously imparting biological properties to them. Serbezeanu et al. showed that it is possible to successfully fabricate PVA nanofibers with extracts from the Thymus vulgaris, Salvia officinalis, and Hypericum species by electrospinning. The addition of the plant extracts influenced the morphology of the fibre and incorporated anti-bacterial activity against S. aureus, MRSA and E. coli, indicating the possibility of using phytotherapeutic agents as functional components of PVA nanofibers (Serbezeanu et al., 2021).

Specific studies have already shown that it is possible to use thyme in electrospun polymeric systems. Koushki et al. fabricated PCL/PVA core–shell nanofibers loaded with thyme extract and reported uniformity of the nanofibers, their good biocompatibility and increased antibacterial activity after loading thyme (Koushki et al., 2018; Patil et al., 2021). Recently, the possibility of plant-based active compounds in electrospun biomedical membranes was further demonstrated using a system based on PVA and phytotherapeutic extracts such as those of Thymus vulgaris. However, the majority of studies conducted on these have been on hydroalcoholic or ethanolic extracts, complex core–shell systems, or multiple polymers and bioactive components.

In this study, the desired PVA nanofibers containing the different percentage of aqueous thyme extract (T1%, T5%, T10%, and T20%) were prepared by a traditional electrospinning method. The effect of thyme incorporation on the resulting nanofibers morphology, chemical structure and thermal behavior have been studied by FESEM, FTIR and thermal analysis. The FESEM micrographs were used to quantitatively assess fiber diameters using the ImageJ software. The study is aimed at showing that aqueous thyme extract can be added to PVA nanofibers and thus creating a simple platform to develop naturally derived, potentially bioactive nanofibrous materials for biomedical applications.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Materials and Equipment

Purchased from Sigma-Aldrich (USA), polyvinyl alcohol (PVA) with molecular weight between 13,000 and 23,000 Da was used for preparation of electrospinning solutions with 87–89% hydrolysis degree. The deionized water was provided from a Millipore Milli-Q IQ 7000 Ultrapure Water System (Germany). Dried thyme (Thymus vulgaris) was collected from a local market for preparing the aqueous extracts. FTIR spectra were recorded from 4000 to 400 cm^{-1} with the ATR technique with a PerkinElmer FTIR spectrometer. The Basic System (Inovenso, Türkiye) was used to produce nanofibers. The ZEISS Gemini SEM 300 field-emission scanning electron microscope (FE-SEM) was used for the analysis of the morphology of the electrospun nanofibers. Diameters of fiber were measured by ImageJ software. The thermal behavior (TGA) was analyzed using a SII TG/DTA 6300 Thermal Analyzer at a heating rate of 10 °C/min, under nitrogen atmosphere with gas flow rate 120 mL/min, in the temperature range of 30–700 °C.

2.2. Preparation of Thyme Extracts and Electrospinning Methods

Four different concentrations (1%, 5%, 10% and 20% w/w) of thyme (Thymus vulgaris) extracts were prepared in this study. Polyvinyl alcohol (PVA) was used as the polymer matrix. The previously prepared aqueous extracts were used in the preparation of PVA solutions of 12% (w/w) for each concentration of the thyme extract. A control solution was also prepared by adding 2.4 g of PVA to water without any thyme extract. All solutions were stirred for 24 hours on a horizontal shaker at room temperature to assure complete dissolution and homogeneous dispersion of the extract in the polymer matrix (Yılmaz, 2026). The solutions

were injected into a plastic syringe fitted with a stainless steel needle. A syringe was mounted onto a syringe pump for controlling the flow rate. The applied voltage, tip-to-collector distance (TCD) and flow rate used for electrospinning were optimized by preliminary experiments: 25 µL/min, 15 cm and 20 kV. The nanofibers obtained were gathered on the grounded collector by aluminum foil. The electrospinning processes were performed under ambient temperature and humidity (45%).

3. RESULTS AND DISCUSSION

The chemical structure of the pure PVA and thyme extract embedded PVA nanofibers (T1%, T5%, T10%, T20%) was investigated using FTIR spectroscopy. The FTIR spectra of pure PVA, thyme extract, and T1%/PVA nanofibers are shown as examples in Fig. 1 in the range of 4000–400 cm^{-1}. The FTIR spectra of pure PVA nanofibers exhibited the characteristic peaks as mentioned in the literature (Lee et al., 2009). After incorporation of thyme extract, some changes were noticed in the FTIR spectra. The most notable differences were the presence of new bands or the enhancement of bands within the fingerprint range (1500-900 cm^{-1}). In particular, there was a band at 1515 cm^{-1} that was present in all thyme extract containing samples, which corresponds with the C=C stretching vibration of the phenolic rings present in both thymol and carvacrol, the most important bioactive compounds of the thyme extract.

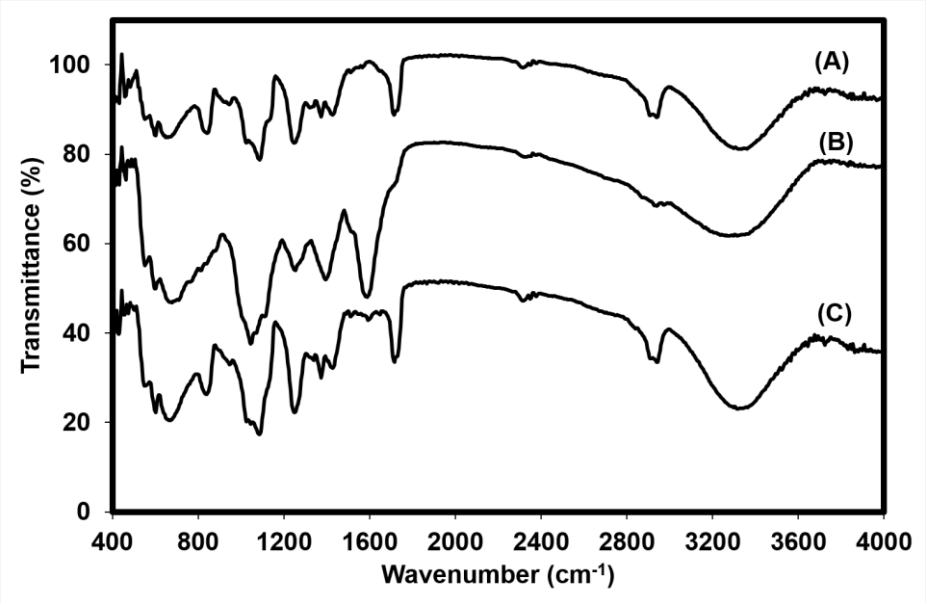


Fig. 1. FTIR spectra of (A) pure PVA, (B) thyme extract and (C) T1%/PVA nanofibers

The surface morphology and fiber diameter distributions of electrospun pure PVA nanofibers and PVA nanofibers containing different percentages (1%, 5%, 10%, and 20%) of thyme extract were studied by FESEM (Fig. 2). The fiber diameter was measured for 50 randomly selected fibers per sample using ImageJ software and averaged, and histograms were plotted. The pure PVA nanofibers had a smooth surface and bead-free appearance. The average fiber diameter was 290 nm (SD ±30 nm). The histogram was analyzed and it was found that the fiber diameters were distributed in a narrow range and had a unimodal distribution pattern.

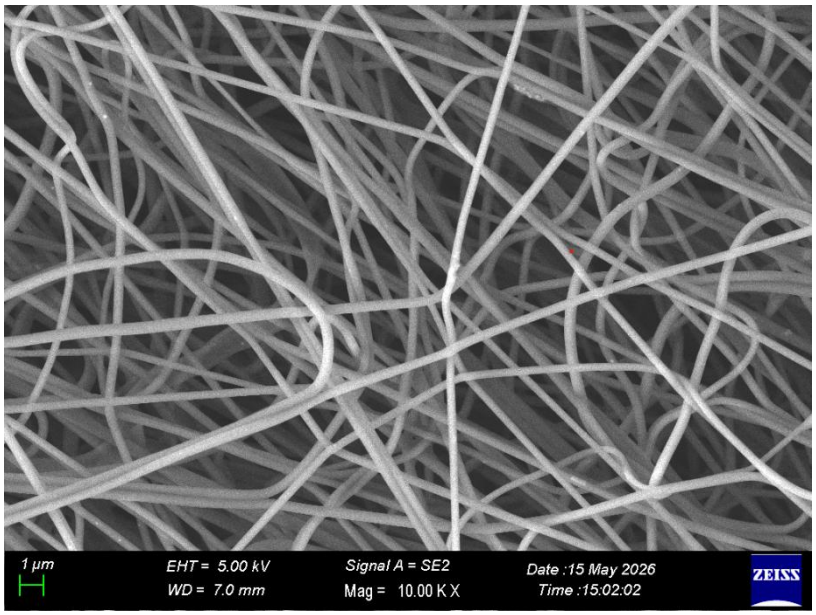


Fig. 2. FE-SEM images of T5%/PVA nanofibers

The thermal stability of pure PVA and thyme extract incorporated PVA nanofibers was studied by thermogravimetric analysis (TGA). TGA thermograms of all the five samples are plotted in Fig. 3 under nitrogen atmosphere at a heating rate of 10°C/min in the range of temperature 40°C to 700°C. The degradation profiles were typical of two steps in all the samples. The first weight loss is considered to be due to the loss of absorbed water and residual solvents, between approximately 100°C and 200°C. In this area, all samples experienced a weight loss of about 9-10% (Rodríguez et al., 2012). The degradation was slower above 500°C. At 600°C, pure PVA left approximately 5.2% residue, while T1%, T5%, T10%, and T20%/PVA left approximately 5.8%, 6.3%, 6.1%, and 6.0%, respectively. The residual mass was found to be maximum for T5% and T20% PVA. The differences between the extract containing samples were not large, but an increasing trend from the low to high extract concentration was evident.

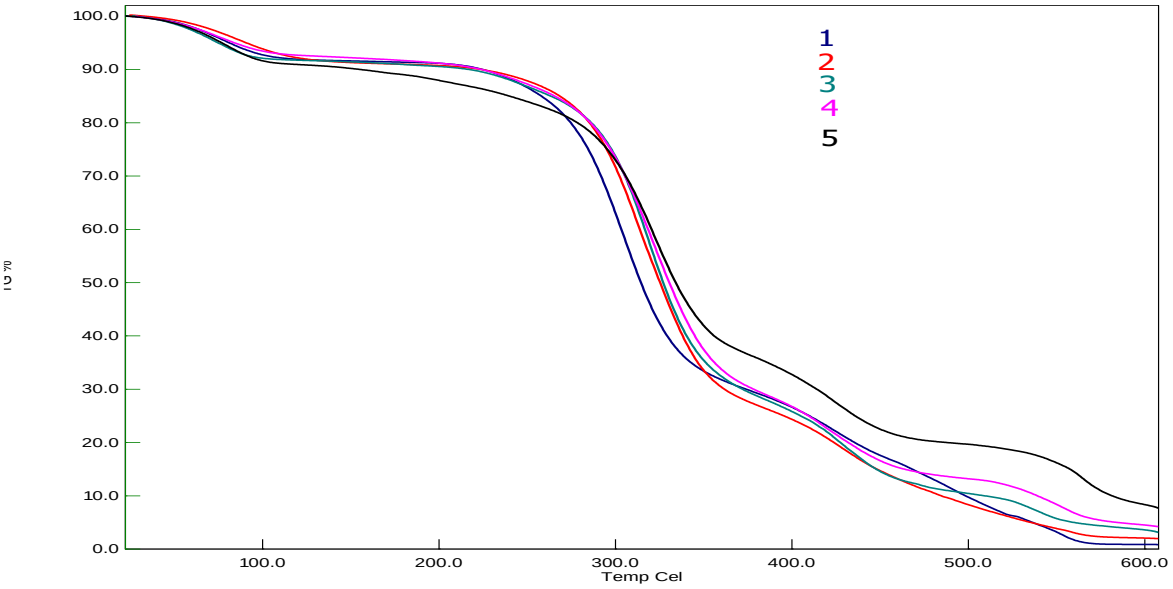


Fig. 3. TGA thermograms of (1) pure PVA and thyme extract-incorporated PVA nanofibers ((2) T1%, (3) T5%, (4) T10%, (5) T20%)

4. CONCLUSIONS

PVA nanofibers with various concentrations of aqueous thyme extract (T1%, T5%, T10%, and T20%) were successfully fabricated by electrospinning in this study. The FESEM observation revealed that nanofibers were mostly continuous, uniform and bead free with thyme extract causing changes to the morphological properties and fiber diameter. The characteristic structure of PVA was confirmed by FTIR analysis and showed evidence of interactions between the polymer matrix and the components of thyme. The changes in the thermal degradation behavior of the nanofibers after thyme was added were also shown by thermal analysis. The results highlight the potential of using aqueous thyme extract in PVA nanofibers without disrupting the formation of homogeneous fibrous mats. Thyme due to its bioactive properties and the combination of these properties with the favorable characteristics of PVA makes these nanofibers interesting candidates in the biomedical field, in particular, for developing wound dressings, tissue engineering, and drug delivery systems. They need to be further explored for their antimicrobial, antioxidant, and cytocompatibility properties to establish their biomedical potential.

REFERENCES

Kamoun, E. A., Loutfy, S. A., Hussein, Y., & Kenawy, E.-R. S. (2021). Recent advances in PVA-polysaccharide based hydrogels and electrospun nanofibers in biomedical applications: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, *187*, 755–768. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.08.002

Koushki, P., Bahrami, S. H., & Ranjbar-Mohammadi, M. (2018). Coaxial nanofibers from poly(caprolactone)/ poly(vinyl alcohol)/Thyme and their antibacterial properties. *Journal of Industrial Textiles*, *47*(5), 834–852. https://doi.org/10.1177/1528083716674906

Lee, H. W., Karim, M. R., Ji, H. M., Choi, J. H., Ghim, H. Do, Park, S. M., Oh, W., & Yeum, J. H. (2009). Electrospinning fabrication and characterization of poly(vinyl alcohol)/montmorillonite nanofiber mats. *Journal of Applied Polymer Science*, *113*(3), 1860–1867. https://doi.org/10.1002/app.30165

Patil, S. M., Ramu, R., Shirahatti, P. S., Shivamallu, C., & Amachawadi, R. G. (2021). A systematic review on ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacological aspects of Thymus vulgaris Linn. *Heliyon*, *7*(5), e07054. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07054

Rodríguez, K., Gatenholm, P., & Renneckar, S. (2012). Electrospinning cellulosic nanofibers for biomedical applications: structure and in vitro biocompatibility. *Cellulose*, *19*(5), 1583–1598. https://doi.org/10.1007/s10570-012-9734-0

Serbezeanu, D., Bargan, A., Homocianu, M., Aflori, M., Rîmbu, C. M., Enache, A. A., & Vlad-Bubulac, T. (2021). Electrospun Polyvinyl Alcohol Loaded with Phytotherapeutic Agents for Wound Healing Applications. *Nanomaterials*, *11*(12), 3336. https://doi.org/10.3390/nano11123336

Türkoğlu, G. C., Khomarloo, N., Mohsenzadeh, E., Gospodinova, D. N., Neznakomova, M., & Salaün, F. (2024). PVA-Based Electrospun Materials—A Promising Route to Designing Nanofiber Mats with Desired Morphological Shape—A Review. *International Journal of Molecular Sciences*, *25*(3), 1668. https://doi.org/10.3390/ijms25031668

Yılmaz, Y. (2026). A new one-step electrospun polyvinyl alcohol nanofibers with uniformly dispersed silver nanoparticles. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, *16*(1), 197–206. https://doi.org/10.17714/gumusfenbil.1809683

İTFAİYE İSTASYONLARININ YER SEÇİMİNDE DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN HUSUSLAR: RİSK ODAKLI, ERİŞİLEBİLİR VE DİRENÇLİ BİR YERLEŞİM MODELİ

Öğr. Gör. Abdurrahman OLGUN
Gümüşhane Üniversitesi / Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, 29810 Kürtün, Gümüşhane
ORCID: 0000-0001-9901-2703
Öğr. Gör. Uğur MAZLUM
Gümüşhane Üniversitesi, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, 29810 Kürtün, Gümüşhane
ORCID: 0000-0003-4916-5992

ÖZET

Nüfus yoğunluğu yüksek şehirlerde, yangın istasyonları için doğru yerlerin seçilmesi, yangınlara hızlı müdahale edebilmek ve can ve mal kaybını en aza indirmek açısından hayati önem taşır. Yangın istasyonu yerleri belirlenirken şehir bir bütün olarak belirli bölgelere ayrılmalı ve bu bölgelerin her birinde bir yangın istasyonuna duyulan ihtiyaç değerlendirilmelidir. Yaz aylarında yükselen sıcaklıklar, kırsal ve kentsel alanlardaki yangınların hızla yayılmasına neden olabilir ve bu da dakikalar içinde önemli can ve mal kayıplarına yol açabilir. Bu nedenle, etkili ve hızlı yangın müdahalesi son derece önemlidir. İtfaiye istasyonları için yer seçimi, yalnızca itfaiye araçlarının nereye konuşlandırılacağının belirlenmesi meselesi değildir. Bu, can ve mal kaybını azaltan, acil durumlara müdahale sürelerini kısaltan, kentsel riskleri yöneten ve kamu kaynaklarının etkin kullanımını sağlayan stratejik bir planlama konusudur. Nüfus artışı, plansız kentleşme, yüksek katlı binaların inşası, endüstriyel tesislerin yaygınlaşması, ulaşım ağlarındaki tıkanıklıklar ve iklimle ilgili afet riskleri, itfaiye istasyonu yerlerinin seçilmesine yönelik geleneksel yaklaşımların yetersiz kaldığını göstermektedir. Bu çalışma, itfaiye istasyonu yerlerinin seçilmesine ilişkin temel kriterleri değerlendirmeyi ve gelecekteki kentsel gelişmeler için risk odaklı, erişilebilir ve uyarlanabilir bir yer seçimi stratejisi önermeyi amaçlamaktadır.

Çalışma, üç ana başlık altında nüfus ve bina yoğunluğu, yangın sıklığı, tehlikeli tesislere yakınlık, yol ağı ve seyahat süresi, topografik özellikler, afet riskleri, arsa maliyetleri ve istasyonların operasyonel kapasitesini ele almıştır. Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS), çok kriterli karar verme yöntemleri ve senaryo analizlerinin bir arada kullanılması, alternatif istasyon yerlerini objektif bir şekilde değerlendirmek için bir yöntem olarak belirlenmiştir. Ayrıca, eşzamanlı olaylara müdahale, alternatif ulaşım güzergâhları, gelecekteki nüfus hareketleri ve afet sırasında istasyonun işlevselliğinin sürdürülmesi gibi konuların yer seçimi sürecine dahil edilmesinin önemi vurgulanmıştır. Sonuç olarak, itfaiye istasyonlarının yer seçimi, mevcut olay dağılımına dayalı statik bir planlama faaliyeti olarak değil, değişen riskleri ve gelecekteki ihtiyaçları dikkate alan dinamik bir kamu güvenliği yatırımı olarak ele alınmalıdır.

Anahtar Kelimeler: İtfaiye istasyonları, yer seçimi, müdahale süresi, coğrafi bilgi sistemleri, afet yönetimi, risk analizi.

CONSIDERATIONS IN THE LOCATION SELECTION OF FIRE STATIONS: A RISK-ORIENTED, ACCESSIBLE, AND RESILIENT SETTLEMENT MODEL

ABSTRACT

In densely populated cities, selecting appropriate locations for fire stations is of vital importance to ensure rapid response to fires and minimize the loss of life and property. When determining fire station sites, the city should be divided into specific zones, and the need for a fire station in each of these zones should be assessed. Rising temperatures during the summer can cause fires in rural and urban areas to spread rapidly, leading to significant losses of life and property within minutes. Therefore, effective and swift fire response is critically important.

The selection of fire station sites is not merely a matter of deciding where to deploy fire trucks. It is a strategic planning issue that reduces casualties and property damage, shortens emergency response times, manages urban risks, and ensures the efficient use of public resources. Population growth, unplanned urbanization, the construction of high-rise buildings, the proliferation of industrial facilities, congestion in transportation networks, and climate-related disaster risks demonstrate the inadequacy of traditional approaches to fire station site selection. This study aims to evaluate the fundamental criteria for fire station location selection and propose a risk-oriented, accessible, and adaptable site selection strategy for future urban development.

The study addresses, under three main headings, factors such as population and building density, fire frequency, proximity to hazardous facilities, road networks and travel times, topographical features, disaster risks, land costs, and the operational capacity of stations. The combined use of Geographic Information Systems (GIS), multi-criteria decision-making methods, and scenario analyses has been identified as an objective methodology for evaluating alternative station sites. Furthermore, the importance of incorporating issues such as simultaneous incident response, alternative transportation routes, future population movements, and the maintenance of station functionality during disasters into the site selection process has been emphasized.

In conclusion, fire station site selection should not be considered a static planning activity based solely on the distribution of current incidents, but rather as a dynamic public safety investment that considers evolving risks and future needs.

Keywords: Fire stations, site selection, response time, Geographic Information Systems (GIS), disaster management, risk analysis.

1. GİRİŞ

Bir acil durum sırasında, itfaiye araçlarının yangın mahalline hızlı bir şekilde ulaşabilmesi hayati önem taşır. Bir olaya müdahalenin hızlı mı yoksa gecikmeli mi olacağı, şehir içindeki itfaiye istasyonlarının konumu, yol koşulları, yol ağı, yangın söndürme ekipmanlarının yeterliliği ve yangının türü gibi birçok faktörden etkilenir (Vural, 2024:852). İtfaiye hizmetleri, kentsel güvenliği sağlamada ve afetlerin yol açtığı kayıpları en aza indirmede kritik bir rol oynar. Bu hizmetlerin başarısı, yalnızca personelin mesleki yeterliliğine, araç ve ekipmanların kapasitesine, müdahale çabalarının organizasyonuna ve kurumlar arası koordinasyona değil, aynı zamanda itfaiye istasyonlarının coğrafi konumuna da bağlıdır. Bir istasyonun uygun bir yere konumlandırılması, olay yerlerine müdahale sürelerini kısaltabilir, hizmet alanı içindeki nüfusu koruyabilir ve kaynakların daha dengeli bir şekilde kullanılmasını sağlayabilir.

Ancak, şehir merkezine yakınlık tek başına uygun bir konumu garanti etmez. Trafik sıkışıklığı, yol geometrisi, kavşakların konumu, demiryolu geçitleri, eğimler, köprüler ve tüneller ile alternatif güzergâhların mevcudiyeti, istasyon ile olay yeri arasındaki fiili seyahat süresini etkileyebilir. Awad ve ark. (2024) tarafından yapılan bir çalışma, itfaiye araçlarının seyahat

sürelerini doğru bir şekilde değerlendirmek için trafik ışıkları, kavşaklar ve trafik yoğunluğunun dikkate alınmasının hayati önem taşıdığını göstermektedir.
Son yıllarda, yüksek doğum oranları ve artan göç nedeniyle kentsel nüfus hızla artmıştır. Şehirlerin gerekli altyapıya sahip olmaması nedeniyle bu büyüme, belediye hizmetlerinin istenen düzeyde sunulmasını engellemiştir. İtfaiye hizmetleri bu hizmetler arasında önemli bir rol oynamaktadır. Yoğun nüfuslu ve düzensiz bir şekilde gelişen şehirlerde, yetersiz kaynak yönetimi, itfaiye araçlarının yangın mahalline zamanında ulaşamamasına neden olmaktadır (Aydın, 2018: 169).
En uygun konumu belirlemek için birçok yöntem mevcuttur. Bunların çoğu, geçmiş deneyimlerin basit analizlerine ve öznel tercihlere dayanmaktadır. Daha sonra, bu yaklaşımlara istatistiksel ve matematiksel araçlar dahil edilerek daha karmaşık yöntemler geliştirilmiştir. Ancak bu yöntemler hesaplama açısından karmaşıktır. Bu sorunu çözmek için, itfaiye istasyonlarının konumlarını belirlemek amacıyla günümüzde bilgisayar modellemesi kullanılmaktadır (Hewitt, 2002:69-74).
İtfaiye istasyonu yer seçimi ve yangın tahmini üzerine yapılan çalışmaların gözden geçirilmesi, çok çeşitli araştırmaların varlığını ortaya koymaktadır (O'Connor ve ark., 2017, s. 587). Yer seçiminin bir başka yönü de hizmet verilecek bölgedeki tehlikelerin varlığıdır. Konut alanları, sanayi bölgeleri, yakıt depoları, kimya tesisleri, ormanlık alanlar, tarihi yapılar ve yoğun nüfuslu ticaret merkezleri gibi farklı alanlar, kendine özgü müdahale stratejileri gerektirir. Bu nedenle itfaiye istasyonları, yalnızca geçmişteki olayların sayısına değil, aynı zamanda gelecekteki olayların olası sonuçlarına ve bölgenin gelecekteki gelişimine de dayalı olarak planlanmalıdır. İstanbul'da yürütülen çalışmalar da istasyon yerlerinin seçimi sırasında nüfus yoğunluğu, tehlikeli tesislerin dağılımı ve ana ulaşım yollarına yakınlık gibi kriterlerin bir arada değerlendirilebileceğini göstermektedir (Nyimbili & Erden, 2020).
İtfaiye istasyonlarının yerlerinin seçimi, özellikle kentsel alanlar olmak üzere potansiyel yangın riski bulunan bölgelerde büyük önem taşımaktadır. Ayrıca, yangınlar can ve mal kaybına yol açabileceğinden, yerel yönetimleri çok zor bir duruma sokabilir. İtfaiye ve ambulans sistemleri gibi acil durum hizmetleri, yerel yetkililerin liderliği altında en üst düzeyde kamu güvenliğini sağlamayı amaçlamaktadır. Sonuç olarak, yangın olaylarına hızlı ve etkili bir şekilde müdahale etmek hayati önem taşıdığından, yerel yetkililer itfaiye istasyonlarının yerlerinin seçimine büyük önem vermektedir (Liu ve Huang vd., 2006:361-369).
Bu makale, itfaiye istasyonlarının yer seçimini etkileyen fiziksel, mekânsal, operasyonel ve yönetimsel faktörleri incelemek üzere bütüncül bir yaklaşım benimsemektedir. Buna göre, çalışma üç bölüme ayrılmıştır. İlk bölüm, yer seçiminin temel ilkelerini ve risk temelli yaklaşımları ele almaktadır. İkinci bölüm, ulaşılabilirlik ve operasyonel koşulları incelemektedir. Üçüncü bölüm ise teknoloji destekli karar verme sürecini ve yenilikçi planlama önerilerini tartışmaktadır.

2. İtfaiye İstasyonlarının Yer Seçiminde Temel İlkeler ve Risk Odaklı Planlama

2.1. Nüfus, yapılaşma ve kentsel gelişim

Nüfus yoğunluğu, itfaiye istasyonlarının yer seçimi için temel kriterlerden biridir. Ancak, yalnızca toplam nüfus sayısını dikkate almak yetersizdir. İtfaiye hizmetlerine olan talep, gündüz ve gece nüfusu arasındaki farklardan, mevsimsel nüfus hareketlerinden, turizm faaliyetlerinden, öğrenci nüfusundan ve geçici çalışma alanlarından etkilenebilir.
Örneğin, gündüzleri yoğun faaliyet gösteren bir ticaret merkezi ile gece nüfusu fazla olan bir yerleşim bölgesi, günün farklı saatlerinde farklı müdahale süreleri gerektirebilir. Bu nedenle, yer seçimi analizlerinde sadece nüfusun mekânsal dağılımı değil, aynı zamanda zamansal değişimi de dikkate alınmalıdır.
Bina özellikleri, nüfus yoğunluğu kadar önemlidir. Yüksek katlı binalar, yüksek yoğunluklu

yapılaşma, dar sokaklar, ahşap yapıların yoğunluğu ve erişimin sınırlı olduğu yerleşim alanları, yangının yayılma olasılığı ve müdahale zorluğu açısından farklı riskler oluşturur. Özellikle tarihi şehir merkezlerinde, binaların korunması, sokakların fiziksel özellikleri ve araçların manevra kabiliyeti birlikte değerlendirilmelidir.

İnsanları, yerleşim alanlarını ve çevreyi yangından korumak, uzun zamandır kentsel ve kırsal alanlarda önemli bir endişe kaynağı olmuştur. Yangınlar can ve mal kaybına yol açtığı ve doğal çevreyi değiştirdiği için, ülkeler yangın önleme ve müdahale hizmetlerine önemli kaynaklar ayırmıştır. Şehir merkezlerindeki itfaiye teşkilatları genellikle su pompalama ve dağıtımından sorumlu acil müdahale ekiplerinden oluşur ve yangın söndürme operasyonlarını yürütür (Schreuder, 1988:299-305).

İtfaiye istasyonları, yalnızca insanların yaşadığı yerlere göre değil, aynı zamanda yaşadıkları binaların türlerine, nüfus yoğunluğuna ve yaşam koşullarına göre de planlanmalıdır.

Ayrıca, yer seçimi mevcut imar planlarıyla sınırlı kalmamalıdır. Yeni yerleşim alanları, düzenli sanayi bölgeleri, lojistik merkezleri ve ulaşım altyapısı, gelecekteki risk dağılımını değiştirebilir. Bu nedenle, itfaiye istasyonu planlaması, kentsel gelişim kararlarıyla birlikte yürütülmelidir.

2.2. Yangın geçmişi ve tehlike kaynaklarının dağılımı

Tarihsel yangın kayıtları, itfaiye istasyonlarının yerlerinin belirlenmesinde önemli bir veri kaynağıdır. Yangınların yeri, sıklığı, türü, müdahale süresi ve yol açtığı hasarların analiz edilmesi yoluyla, hizmet talebinin yüksek olduğu alanlar tespit edilebilir. Ancak, geçmişteki olayların dağılımı, gelecekteki risklerin tam bir göstergesi olarak değerlendirilmemelidir.

Bir bölgede geçmişte az sayıda yangın yaşanmış olması, o bölgenin mutlaka düşük risk taşıdığı anlamına gelmez. Örneğin, büyük miktarda yanıcı veya patlayıcı madde barındıran bir tesis, olay sıklığı düşük olsa bile, olası kaza sonuçları açısından yüksek öncelikli olarak değerlendirilebilir.

Bu bağlamda, aşağıdaki tehlike kaynaklarının mekânsal dağılımı incelenmelidir:

- Endüstriyel tesisler, organize sanayi bölgeleri ve üretim alanları.
- Benzin istasyonları, yakıt depolama tesisleri ve tehlikeli madde tesisleri.
- Hastaneler, okullar, yurtlar, alışveriş merkezleri ve halka açık toplanma alanları.
- Ormanlık alanlar, tarım alanları ve orman-kentsel geçiş bölgeleri.
- Tarihi yapılar, kültürel miras alanları ve yoğun yapılaşmış tarihi mahalleler.

Nyimbili ve Erden (2020) tarafından İstanbul üzerinde yapılan bir çalışmada, istasyon yer seçimini etkileyen temel kriterler olarak tehlikeli tesislerin yoğunluğu, nüfus yoğunluğu ve ana yollara yakınlık belirlenmiştir. Bu yaklaşım, istasyon planlamasında sadece olay sayısının değil, aynı zamanda bunların potansiyel etkisinin de dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır.

2.3. Risk temelli hizmet alanlarının oluşturulması

Geleneksel yaklaşımda, bir itfaiye istasyonunun hizmet alanı belirli bir yarıçap veya mesafeye göre tanımlanabilir. Ancak, kuş uçuşu mesafe, bir itfaiye aracının gerçek seyahat koşullarını yansıtmaz. Nehirler, demiryolları, otoyollar, engebeli arazi veya coğrafi olarak birbirine yakın iki bölge arasındaki sınırlı erişim noktaları, önemli seyahat engelleri oluşturabilir.

Bu nedenle, hizmet alanları belirlenirken coğrafi mesafeden ziyade gerçek yol ağı üzerindeki seyahat süresi öncelikli olarak dikkate alınmalıdır. Ayrıca, aynı zaman dilimi içinde ulaşılabilen alanların risk seviyeleri farklılık gösterebileceğinden, erişilebilirlik ve tehlike yoğunluğu birlikte değerlendirilmelidir.

Önerilen yaklaşımda, her bir yerleşim alanı için üç temel soru sorulmalıdır:

- Bir itfaiye aracının bu alana ulaşması ne kadar sürer?
- Bu bölgede olayların meydana gelme olasılığı nedir ve sonuçları ne olabilir?

- Ve aynı anda birden fazla olay meydana gelirse, mevcut istasyonların yeterli kapasitesi var mı?

Bu sorular, itfaiye istasyonu için bir yer seçmenin sadece coğrafi bir çalışma olmadığını; aksine, risk, kapasite ve erişilebilirlik arasında denge kurmayı içeren bir planlama sorunu olduğunu göstermektedir.

Yangın önleme ve itfaiye istasyonu yerleştirme konusunda dikkate alınması gereken çeşitli hususlar vardır. İtfaiye istasyonu yerleştirme kararlarına yön vermek için birçok alternatif ve birbirini tamamlayıcı modelleme yaklaşımı kullanılabilir (Chevalier vd., 2012:173).

3. Ulaşılabilirlik, Operasyonel Kapasite ve Fiziksel Yerleşim Koşulları

3.1. Ulaşım ağı ve gerçek müdahale süresi

İtfaiye istasyonlarının yer seçimi yapılırken en kritik faktörlerden biri, olay yerine ulaşmak için gereken süredir. Ancak müdahale süresi, yalnızca istasyon ile olay yeri arasındaki seyahat süresiyle belirlenmez. Çağrının alınması ve değerlendirilmesi, ekip ve aracın hazırlanması ile aracın olay yerinden ayrılması ve olay yerine varışı, genel müdahale sürecinin ayrı bileşenleridir.

Bu nedenle, yer seçimi çalışmalarında seyahat süresi ile toplam müdahale süresi birbirinden ayrılmalıdır. Bir istasyonun uygun bir konuma yerleştirilmesi, aracın olay yerine erişimini kolaylaştırabilir; ancak ekip hazırlığı, çağrı yönetimi veya olay yerindeki operasyonel süreçlerin neden olduğu gecikmeleri ortadan kaldırmaz.

Ulaşım ağını değerlendirirken aşağıdaki kriterler göz önünde bulundurulmalıdır:

- Ana arterlere ve alternatif güzergâhlara bağlantılar.
- Kavşaklar, trafik ışıkları ve trafiğin yoğun olduğu alanlar.
- Dar caddeler, keskin virajlar ve araç manevra alanları;
- Köprüler, tüneller, hemzemin geçitler ve diğer ulaşım darboğazları.
- Yol eğimleri, kış koşulları ve mevsimsel ulaşım kısıtlamaları.
- Trafik yoğunluğu günün farklı saatlerinde değişiklik gösterir.

Awad ve ark. (2024) tarafından yapılan çalışma, seyahat süresini hesaplarken trafik ışıkları, kavşaklar ve trafik yoğunluğu gibi faktörlerin dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır. Bu durum, harita üzerinde yalnızca en kısa mesafeyi belirlemenin, gerçek müdahale performansını değerlendirmek için yeterli olmayabileceğini göstermektedir.

İstanbul Büyükşehir Belediyesi için geliştirilen yer seçimi modelinde, farklı istasyon konum senaryolarını değerlendirmek üzere Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) kullanılmıştır. Beş dakikalık erişim kriterine dayalı olarak kapsama oranının artırılabileceği gösterilmiştir (Aktaş ve ark., 2013).

Belirli bir müdahale süresinin, tüm yerleşim türleri ve olaylar için evrensel bir standart olarak kabul edilmemesi gerektiğine dikkat etmek önemlidir. Hedef süreler; yürürlükteki mevzuat, ilgili standartlar, hizmetin niteliği, yerel riskler ve mevcut kaynaklar çerçevesinde belirlenmelidir.

3.2. İstasyonun fiziksel özellikleri ve operasyonel uygunluğu

Bir istasyonun coğrafi açıdan uygun bir noktada bulunması, o bölgenin operasyonel açıdan da uygun olduğu anlamına gelmez. Bir yer seçerken şu faktörler göz önünde bulundurulmalıdır: araç giriş ve çıkış düzeni; personel güvenliği, bakım faaliyetleri; ekipman depolama alanları ve olası genişleme ihtiyaçları.

Bu bağlamda, aşağıdaki özellikler değerlendirilmelidir:

Yer büyüklüğü ve genişleme potansiyeli: İstasyonun mevcut araç filosunu barındırabilmesi ve gelecekte araç ve personel sayısındaki artışlara uyum sağlayabilmesi önemlidir.

Araç çıkış güvenliği: İtfaiye araçları, istasyondan çıkıp ana yola güvenli ve gecikmesiz bir şekilde ulaşabilmelidir. Kavşaklarda görüşün kısıtlı olduğu veya yaya trafiğinin yoğun olduğu

çıkışlar risk oluşturabilir.

Arazi ve yapısal güvenlik: Toprağın taşıma kapasitesi, drenaj özellikleri ve yapısal bütünlüğü değerlendirilmelidir. İtfaiye istasyonunun deprem, sel veya heyelan gibi olaylar sırasında da işlevini sürdürebilmesi hayati önem taşır.

Altyapı kapasiteleri: Elektrik, iletişim, su, atık su ve enerji altyapısının yeterliliği değerlendirilmelidir. Acil durumlarda kesintisiz hizmetin sağlanması için yedek güç ve iletişim çözümleri planlanmalıdır.

Personel ve yaşam koşulları: İstasyonun tasarımında dinlenme alanları, eğitim alanları, spor tesisleri, hijyen tesisleri ile iş sağlığı ve güvenliği gereklilikleri yer almalıdır.

Çevresel uyumluluk: Gürültü, araç trafiği ve gece operasyonlarının çevredeki yerleşim alanları üzerindeki etkisi değerlendirilmelidir. Ancak, çevresel kaygılar istasyonun hızlı ve güvenli bir şekilde müdahale etme yeteneğini tehlikeye atmamalıdır.

Bu kriterlerin bir arada değerlendirilmesi, istasyon yerinin seçiminin yalnızca maliyet uygunluğu veya edinim kolaylığına dayandırılmasının önemli dezavantajları olduğunu açıkça ortaya koymaktadır. Ucuz fakat ulaşım bağlantıları yetersiz, afet riski yüksek veya genişlemeye elverişsiz bir arazi, uzun vadede daha yüksek kamu maliyetlerine yol açabilir.

3.3. Eş zamanlı olaylar ve istasyonlar arası destek

Yer seçimi planlamasında sıklıkla göz ardı edilen bir konu, birden fazla olayın aynı anda meydana gelme olasılığıdır. Bir istasyonun hizmet alanı içindeki tek bir olaya hızlı bir şekilde müdahale edebilmesi, ikinci bir olay durumunda da aynı performans düzeyini sergileyebileceği anlamına gelmez.

Bu durum, eşzamanlı olayların mevcut araç ve personel kapasitesini zorlayabileceği büyük şehirlerde, sanayi bölgelerinde ve orman yangını riski taşıyan yerleşim yerlerinde özellikle geçerlidir. Tek bir istasyondaki tüm araçların tek bir olaya sevk edilmesi, diğer bölgelerin yeterli acil durum müdahale desteğinden mahrum kalmasına neden olabilir.

Bu nedenle, yer seçimi analizleri sadece en yakın istasyonu belirlemekle kalmamalı, aynı zamanda ikinci ve üçüncü yedek istasyonların potansiyel müdahale sürelerini de hesaplamalıdır. İstasyonlar arası destek mekanizması, özellikle birden fazla ekibin müdahalesini gerektiren büyük olaylar sırasında hayati önem taşır.

Yao ve ark. (2019) tarafından yapılan çalışma, istasyon konumlarını planlarken erişilebilirlik ve hizmet kapsamının birlikte değerlendirilmesinin önemini vurgulamaktadır. Aktaş ve ark. (2013) tarafından yapılan İstanbul çalışması da farklı yerleştirme senaryolarının karşılaştırılmasının istasyon ağının geliştirilmesine yardımcı olabileceğini göstermektedir.

Bir itfaiye istasyonunun başarısı, kendi bölgesine hızlı bir şekilde ulaşma kabiliyeti ve başka bir istasyonun hizmet dışı kaldığı veya aynı anda birden fazla olay meydana geldiği durumlarda genel hizmet sunumuna yaptığı katkı ile ölçülmelidir.

4. Teknoloji Destekli Yer Seçimi ve Yenilikçi Planlama Yaklaşımları

4.1. Coğrafi Bilgi Sistemleri ve çok kriterli karar verme

İtfaiye istasyonlarının yer seçimi, çok sayıda kriterin eşzamanlı olarak değerlendirilmesini gerektiren karmaşık bir karar verme sürecidir. Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS), çeşitli mekânsal veri kümelerinin tek bir analitik ortamda birleştirilmesini kolaylaştırarak alternatif yer seçeneklerinin karşılaştırılmasını mümkün kılar.

- GIS tabanlı bir yer seçimi çalışmasında aşağıdaki veri katmanları kullanılabilir:
- Nüfus yoğunluğu ve nüfus tahminleri.
- Geçmişteki yangın ve acil durum kayıtları.
- Bina yoğunluğu ve bina özellikleri;
- Endüstriyel tesisler ve tehlikeli madde depolama alanları;
- Yol ağları, kavşaklar ve tahmini seyahat süreleri;

- Topografya, eğim ve doğal afet riskleri.
- Mevcut istasyonların konumları ve operasyonel kapasiteleri.
- Arazi mülkiyeti, maliyet ve imar durumu.

Tüm bu veriler, Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP), Bulanık AHP ve diğer çok kriterli karar verme yöntemleriyle birlikte kullanılabilir. Bu sayede farklı kriterlerin göreceli önemi sistematik olarak değerlendirilebilir ve uygunluk haritaları oluşturulabilir.

Nyimbili ve Erden (2020), çeşitli kriterleri bulanık AHP ve Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS) tabanlı bir yaklaşıma entegre ederek İstanbul'daki potansiyel istasyon yerlerini değerlendirmiştir. Çalışmada, tehlikeli tesislerin yoğunluğu, nüfus yoğunluğu ve ana yollara yakınlık, temel kriterler arasında değerlendirilmiştir.

Bununla birlikte, burada önemli bir metodolojik uyarı bulunmaktadır. Çok kriterli bir analizden elde edilen yüksek bir uygunluk puanı, belirli bir yerin seçileceğini garanti etmez. Analiz sonuçları, saha incelemeleri, mühendislik değerlendirmeleri, mevzuata uygunluk ve itfaiye personelinin operasyonel görüşleri ile değerlendirilmelidir.

Ayrıca, kriter ağırlıklarının dayandığı temeller açıklanmalı ve farklı ağırlıklandırma senaryolarında sonuçların değişip değişmediği incelenmelidir. Bu, karar verme sürecini daha şeffaf ve tekrarlanabilir hale getirmeye yardımcı olacaktır.

4.2. Dinamik risk haritaları ve geleceğe dönük planlama

İtfaiye istasyonlarının yer seçimi, yalnızca mevcut kentsel peyzajı dikkate alan bir planlama yaklaşımına dayandırılmamalıdır. Şehirler büyüyor, yeni sanayi bölgeleri kuruluyor, ulaşım altyapısı değişiyor ve iklim koşulları afet risklerini değiştiriyor.

Bu nedenle, yer seçimi modelleri yeni veriler kullanılarak düzenli aralıklarla güncellenmeli ve yeniden değerlendirilmelidir. Özellikle analiz sistemi, yangın kayıtlarını, nüfus değişikliklerini, yeni imar alanlarını ve yol ağı güncellemelerini düzenli olarak içermelidir.

Bu noktada üç yenilikçi yaklaşım öne çıkmaktadır:

Birincisi, gelecekteki kentleşme senaryolarıdır. İkincisi, yeni yerleşim alanları, sanayi bölgeleri ve ulaşım projelerinin tamamlanmasıyla ortaya çıkabilecek hizmet eksiklikleri önceden modellenmelidir.

İkincisi, mevsimsel risk analizidir. Orman yangını mevsimleri, turizm sezonları, kış koşulları ve mevsimsel nüfus artışları, istasyonların hizmet yükünü değiştirebilir.

Üçüncüsü, gerçek zamanlı erişilebilirliktir. Trafik sıkışıklığı, yol kapatmaları ve hava koşulları, araçların gerçek seyahat sürelerini etkileyebilir. Bu verilerin operasyonel sistemlerle entegre edilmesi, yeni istasyonların yerlerinin belirlenmesi ve mevcut istasyonların hizmet alanlarının yeniden değerlendirilmesi açısından yararlıdır.

Türkiye'nin Kayseri kentinde yangın olay kayıtları ve yol ağı verileri kullanılarak yapılan yakın tarihli bir çalışma, seyahat sürelerini tahmin etmek ve rotaları planlamak için Coğrafi Bilgi Sistemleri (GIS) ile makine öğrenimi tekniklerinin birlikte kullanılabileceğini ortaya koymuştur. Ancak, modelin performansı, kullanılan veri setinin kalitesi ve uygulandığı coğrafi koşullarla sınırlıdır. Sonuçlar, doğrudan diğer şehirlere uygulanmak yerine yerel veriler kullanılarak doğrulanmalıdır.

4.3. Yaratıcı bir model önerisi: "Yaşayan İtfaiye İstasyonu Ağı"

Bu makalenin temel önerisi, itfaiye istasyonlarının yer seçimini tek seferlik, sabit bir yatırım kararından 'Canlı İtfaiye İstasyonu Ağı' yaklaşımına dönüştürmektir.

Bu yaklaşım, istasyonların fiziksel konumlarını, aralarındaki ilişkileri, zaman içinde değişen riskleri ve afetler sırasındaki hizmet kapasitelerini ve işlevlerini dikkate alır.

Yaşayan İtfaiye İstasyonu Ağı
Önerilen kavramsal model

1. Mekânsal risk haritası
Nüfus, yangın geçmişi, yapılaşma, sanayi ve doğal tehlikeler

2. Erişilebilirlik ve kapasite analizi
Gerçek seyahat süresi, alternatif yollar ve eş zamanlı olaylar

3. Çok kriterli yer seçimi
CBS, AHP, maliyet, arazi uygunluğu ve uzman değerlendirmesi

4. Birbirini destekleyen istasyon ağı
Birincil ve yedek istasyonlar, ortak kapasite ve alternatif müdahale güzergâhları

5. Sürekli izleme ve güncelleme

Bu modelin uygulanması için beş temel yenilik önerilmektedir:

1. Yeni olay kayıtları
2. Değişen kentsel yapı
3. Performans göstergeleri

1. Risk profillerine dayalı istasyonların uzmanlaşması: Tüm istasyonların aynı operasyonel önceliklere sahip olduğu varsaymak yerine, araç, ekipman ve eğitim kapasiteleri bölgesel risklere göre farklılaştırılmalıdır. Örneğin, orman-kentsel geçiş bölgesinde bulunan bir istasyonun, sanayi bölgesindeki bir istasyonla aynı orman yangını müdahale kapasitesine sahip olması gerekmez.

2. Afetler sırasında hizmeti sürdürebilen istasyonlar: Deprem, sel veya büyük ölçekli yangın sırasında bir istasyona verilen hasar, o istasyonun ve hizmet verdiği daha geniş bölgenin müdahale kapasitesini etkileyebilir. Bu nedenle, elektrik, iletişim, su ve ulaşım sistemlerinde arıza olması durumunda kritik istasyonlar için hizmet sürekliliği senaryoları hazırlanmalıdır.

3. Yedek istasyonlar ve karşılıklı destek sistemi: Ana istasyona ek olarak, her hizmet alanı için alternatif istasyonlar belirlenmelidir; bir istasyonun araçlarının meşgul olması veya ulaşım bağlantılarının kesilmesi durumunda devreye girecek bir destek sistemi önceden planlanmalıdır.

4. Geçici ve mobil müdahale noktaları: Özellikle orman yangını sezonunda, büyük etkinlikler sırasında veya nüfusun mevsimsel olarak arttığı dönemlerde geçici konuşlanma alanları ve mobil müdahale birimleri kurulabilir. Bu yaklaşım, kalıcı istasyonlara yapılan yatırımların yerini almayı değil, belirli dönemlerde kapasiteyi güçlendirmeyi amaçlamaktadır.

5. Kamu hizmeti eksiklik haritası: Haritalar, yalnızca istasyonların yerlerini göstermekle kalmamalı, belirli riskler nedeniyle hangi mahallelerin yetersiz hizmet aldığını da belirlemelidir. Bu sayede, yeni yatırım kararları, idari sınırlara veya mevcut istasyonların dağılımına değil, ölçülebilir hizmet eksikliklerine dayandırılabilecektir.

Bu önerilerin tümü, bir itfaiye istasyonunun sadece bağımsız bir bina olarak değil, şehrin afet dayanıklılık kapasitesinin bir parçası olarak değerlendirilmesi gerektiği fikrine dayanmaktadır.

5. SONUÇ

İtfaiye teşkilatlarının genellikle üç temel sorumluluğu vardır: önleme, eğitim ve müdahale

(Tataroğlu & Altundağ, 2022: 250). Bu kurumlar, temel görevi profesyonel yangın söndürme hizmetleri sunmak ve acil durum müdahale planları geliştirmek olan kurumlar arasındadır (Geçen ve Ölmez, 2018: 326). İtfaiye teşkilatları gibi acil durum hizmet birimlerinin, kamu güvenliğini sağlamak için yüksek düzeyde hizmet sunması gerekmektedir (Özaydın ve ark., 2011: 3). İtfaiye teşkilatlarının önleme, eğitim ve müdahale olmak üzere üç temel görevi olduğu göz önüne alındığında, itfaiye hizmetlerini yalnızca yangın ve acil durumlar meydana geldiğinde müdahale eden bir yapı olarak görmek yetersizdir. İtfaiye teşkilatları aynı zamanda riskleri önceden tespit eden, halkı bilinçlendiren, acil durumlara hazırlanan ve olası olayların sonuçlarını en aza indirmeye çalışan temel kamu güvenliği kurumlarıdır. Bu nedenle, itfaiye teşkilatlarında yüksek hizmet seviyesini sürdürmek, yalnızca yeterli araç, personel ve ekipmana sahip olmaya değil, aynı zamanda bu kaynakların kentsel risklerin dağılımına uygun bir şekilde mekânsal olarak yerleştirilmesine de bağlıdır.

Bu açıdan bakıldığında, itfaiye istasyonlarının yer seçimi sadece fiziksel bir sorun değil, can ve mal güvenliğini doğrudan etkileyen stratejik bir kamu hizmeti planlama meselesidir. Yanlış istasyon yerleşimi, müdahale sürelerinin uzamasına, hizmet kapsamındaki eşitsizliklere ve özellikle yüksek riskli bölgelerde itfaiye hizmetlerinin etkinliğinin azalmasına yol açabilir. Tersine, riskleri, nüfus ve bina yoğunluğunu, ulaşım bağlantılarını, tehlikeli tesisleri ve gelecekteki kentsel gelişimi kapsamlı bir şekilde değerlendiren bir yer seçimi süreci, aynı mekânsal sistem içinde itfaiye teşkilatının önleme ve müdahale yeteneklerini güçlendirebilir.

Bu nedenle, "itfaiye teşkilatında yüksek düzeyde hizmet" sadece olay yerine hızlı bir şekilde ulaşmaktan ibaret değildir. Gerçek anlamda yüksek düzeyde hizmet, risk ortaya çıkmadan önce doğru yerde bulunmak, riskli alanları önceden tespit etmek, toplumu ve kurumları hazırlamak, bir olay meydana geldiğinde hızlı bir şekilde müdahale etmek ve tek bir istasyon yetersiz kaldığında diğer istasyonlardan kesintisiz destek sağlamaktır. Bu nedenle, geleceğin itfaiye istasyonları, sadece araçların park edildiği yapılar olarak değil, şehrin risklerini izleyen ve afetlere karşı dayanıklılığını artıran stratejik müdahale merkezleri olarak tasarlanmalıdır.

Sonuç olarak, şehrin güvenlik sınırını belirleyen itfaiye istasyonunun konumudur, itfaiye teşkilatının hizmet sınırı değildir. Bu nedenle, istasyon yeri seçimine ilişkin her karar, "Bu istasyon nereye inşa edilmeli?" sorusuna yanıt vermeden önce, "Şehrin hangi bölgeleri şu anda yetersiz korunuyor ve gelecekte hangi bölgelerde koruma ihtiyacı ortaya çıkacak?" sorusuna cevap vermelidir. Bu bakış açısı, itfaiye teşkilatının önleme, eğitim ve müdahale görevlerini bütünsel bir yapı olarak ele alan, risk odaklı ve ileriye dönük bir itfaiye istasyonu planlama yaklaşımının temelini oluşturacaktır.

İtfaiye istasyonlarının yer seçimi, belediyenin bugün hizmet sunduğu yerleri basitçe gösteren teknik bir planlama kararından çok daha fazlasıdır. Bu, gelecekte meydana gelebilecek bir yangın durumunda kimin ne zaman yardım alacağını, hangi yapıların korunabileceğini ve bir afet durumunda kentsel yaşamın ne ölçüde sürdürülebileceğini belirleyen stratejik bir kamu güvenliği tercihidir.

Bu çalışmada sunulan değerlendirmeler, yer seçimi sürecinde nüfus yoğunluğu, yangın geçmişi, tehlikeli tesisler, ulaşım ağları, arazi özellikleri, operasyonel kapasite ve gelecekteki kentsel gelişim gibi değişkenlerin dikkate alınması gerektiğini göstermektedir. Coğrafi bilgi sistemleri (GIS) ve çok kriterli karar verme yöntemleri, bu değişkenlerin objektif analizini kolaylaştırırken, saha araştırmaları ve uzman değerlendirmeleri model sonuçlarının uygulanabilirliğini güçlendirmektedir.

Ancak, yer seçiminin başarısı yalnızca ortalama müdahale süresindeki azalma ile ölçülmemelidir. Eşzamanlı olaylara müdahale etme kapasitesi, bir istasyonun hizmet dışı kalması durumunda alternatif bir istasyonun görevi devralma yeteneği, istasyonun afet sırasında işlevselliğini sürdürme kabiliyeti ve şehrin farklı bölgelerine dengeli hizmet sunumu da

değerlendirme sürecine dahil edilmelidir.

Önerilen "Yaşayan İtfaiye İstasyonu Ağı" yaklaşımı, yer seçimini statik bir mekânsal düzenlemeden dinamik bir afet yönetim sistemine dönüştürmeyi amaçlamaktadır. Böyle bir sistemde, istasyon konumları kentsel risklerdeki değişiklikler, nüfus hareketleri, ulaşım koşulları ve operasyonel performans ışığında düzenli olarak yeniden değerlendirilebilir.

Yerel yönetimler için bunun anlamı açıktır: itfaiye istasyonu yatırımları sadece mevcut ihtiyaçları karşılamakla kalmamalı, aynı zamanda gelecekteki riskleri öngörmeli ve hizmet sürekliliğini sağlamalıdır. Buna göre, her yeni istasyon yatırımından kaynaklanan erişimdeki iyileşme, risk azaltımına katkı ve uzun vadeli işletme maliyetleri, alternatif konum senaryolarıyla birlikte değerlendirilmelidir.

Sonuç olarak, itfaiye istasyonlarının yerlerinin seçilmesi sadece tek bir arsa belirlemekle ilgili değildir; bu, tüm şehrin güvenliğini sağlamakla ilgilidir. Konumu uygun olmayan bir istasyon, sadece elverişsiz bir bina olmakla kalmaz; hizmetinde bir boşluk yaratarak müdahale sürelerinin uzamasına, risklerin artmasına ve olası kayıplara yol açar. Bu nedenle, asıl amaç, itfaiye istasyonlarını şehrin kullanılmayan bölgelerine rastgele yerleştirmek yerine, şehrin en çok ihtiyaç duyduğu yerlere, uygun kapasiteyle ve gerektiğinde istasyonların birbirini destekleyebileceği bir sistem içinde konumlandırmak olmalıdır.

Yangınla mücadelede zaman, sadece bir performans ölçütü değildir; hayat ve ölüm arasındaki farkı belirleyebilir.

Kaynakça

Aktaş, E., Özaydın, Ö., Bozkaya, B., Ülengin, F., & Önsel, Ş. (2013). Optimizing fire station locations for the Istanbul Metropolitan Municipality. Interfaces, 43(3), 240–255. https://doi.org/10.1287/inte.1120.0671

Awad, A. M., Wikantika, K., Ali, H., Abujayyab, S. K., & Hashempour, J. (2024). Optimization of new fire department location using an improved GIS algorithm for firefighters travel time estimation. International Journal of Emergency Services, 13(1), 80–97. https://doi.org/10.1108/IJES-04-2023-0011

Aydın, Can, 2018, Makine Öğrenmesi Algoritmaları Kullanılarak İtfaiye İstasyonu İhtiyacının Sınıflandırılması, Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Sayı 14, S.169-175

Chevalier, P., Thomas, I., Geraets, D., Goetghebeur, E., Janssens, O., Peeters, D., ve Plastria, F., 2012, Locating fire stations: An integrated approach for Belgium. Socio-Economic Planning Sciences, 46 (2), 173-182

Geçen, R. (2018). Antakya'da (Hatay) İtfaiyelerin Acil Durumlarda Erişilebilirliği. Uluslararası Sosyal Araştırmalar Dergisi, 11(60), 326-339.

Hewitt,R.L, 2002, Siting a Fire Station by Leveraging Soft Constraints and Supporting Science. Interfaces, 32 (4), 69-74

Liu, N., Huang, B., ve Chandramouli, M., 2006, Optimal siting of fire stations using GIS and ANT algorithm. Journal of computing in civil engineering, 20 (5), 361-369

National Fire Protection Association. (2020). NFPA 1710: Standard for the organization and deployment of fire suppression operations, emergency medical operations, and special operations to the public by career fire departments. https://www.nfpa.org/codes-and-standards/nfpa-1710-standard-development/1710

Nyimbili, P. H., & Erden, T. (2020). GIS-based fuzzy multi-criteria approach for optimal site selection of fire stations in Istanbul, Turkey. Socio-Economic Planning Sciences, 71, Article 100860. https://doi.org/10.1016/j.seps.2020.100860

Özaydın, E. A., Ülengin, F., Önsel, Ş., Ağaran, B. (2011). İstanbul'da İtfaiye İstasyonu Yerlerinin Seçimi İçin Yeni Bir Model. Endüstri Mühendisliği Dergisi, 22(4), 2-12.

O'Connor, C. D., Calkin, D. E., & Thompson, M. P. (2017). An empirical machine learning

method for predicting potential fire control locations for pre-fire planning and operational fire management. International journal of wildland fire, 26(7), 587597.
Schreuder, J., 1988, Location of Rotterdam Fire Stations. In DGOR/NSOR , Springer, Berlin, Heidelberg, 299-305
Tataroğlu, O., Altundağ, H. (2022). Türkiye'de İtfaiye Teşkilatlarının Yangınla Mücadelesindeki Teşkilat Kültürünün Değerlendirilmesi. Dirençlilik Dergisi, 6(2), 247-256.
Uslu, Gül ve Erdebilli, Babek, 2024, FUZZY FUCOM yöntemi kullanarak itfaiye istasyonu yer seçiminin incelenmesi, Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University 39:4 (2024) 2373-2382
Vural, Ercan, 2024, Şanlıurfa Merkez İlçelerindeki İtfaiye İstasyonlarının Coğrafi Bilgi Sistemleri ile Erişilebilirlik Analizi, Kent Akademisi Dergisi, 17(3):852-866. https://doi.org/10.35674/kent.1437424
Yao, J., Zhang, X., & Murray, A. T. (2019). Location optimization of urban fire stations: Access and service coverage. Computers, Environment and Urban Systems, 73, 184–190. https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.10.006

HASTANE BİNALARININ TASARIMINDA YANGIN GÜVENLİĞİ: TÜRKİYE BAĞLAMINDA SORUNLAR, TASARIM YAKLAŞIMLARI VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Öğr. Gör. Abdurrahman OLGUN
Gümüşhane Üniversitesi / Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, 29810 Kürtün, Gümüşhane
ORCID: 0000-0001-9901-2703
Öğr. Gör. Uğur MAZLUM
Gümüşhane Üniversitesi, Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü, 29810 Kürtün, Gümüşhane
ORCID: 0000-0003-4916-5992

ÖZET
Hastaneler, yangın güvenliği açısından diğer yapı türlerinden farklı özelliklere sahip ve bunlardan daha karmaşık binalardır. Bunun başlıca nedeni, hastanelerde bulunan birçok kişinin yangın durumunda kendi başına tahliye edememesi ve tıbbi cihazlara ve yaşam destek sistemlerine bağımlı olmasıdır. Ayrıca, hastane binaları aynı anda çok çeşitli işlevleri barındırmaktadır. Hasta odaları, yoğun bakım üniteleri, ameliyathaneler, laboratuvarlar, görüntüleme merkezleri, mutfaklar, çamaşırhaneler, hizmet odaları, oksijen sistemleri ve elektrik altyapısı, hepsi aynı bina içinde yer almaktadır. Bu nedenle, hastanelerde yangın güvenliği, yangın algılama ve söndürme sistemlerinin kurulmasından öte bir konudur.
Bu çalışma, hastane bina tasarımında yangın güvenliği konusunu üç temel boyutta ele almaktadır: pasif yangın güvenliği, aktif yangın güvenliği ve tahliye/erişilebilirlik tasarımı. Türkiye'deki mevzuat ve akademik çalışmalar incelenerek, hastane tasarımlarında karşılaşılan temel sorunlar tespit edilmiş ve tasarım odaklı çözümler önerilmiştir. Türkiye'de mevcut birçok hastane binası önemli bir sorunla karşı karşıyadır: yangın güvenliği, tasarımın ilk aşamalarında bütüncül bir tasarım parametresi olarak ele alınmamaktadır; daha sonra eklenen aktif yangın güvenliği önlemleri ön plana çıkmaktadır ve işletme aşamasındaki uygulama sorunları önemli zorluklar yaratmaktadır. Türkiye'deki hastanelerin işletme aşamasında yangın güvenliğinin sıklıkla göz ardı edildiğini ve bunun mevzuat ve insan kaynaklarıyla ilgili çeşitli sorunlarla bağlantılı olduğunu görülmüştür.
Çalışmanın temel sonucu, hastanelerde yangın güvenliğinin "yangını söndürme" yaklaşımından "yangının hastaya ulaşmasını önleme" yaklaşımına kayması gerektiğidir. Bu bağlamda çalışma, yangın durumunda yangını önleme, yangını kontrol altına alma ve hastaların güvenliğini sağlama ilkelerine dayanan ve "Hastane Yangın Güvenliği Tasarım Üçgeni" olarak adlandırılabilecek bir tasarım yaklaşımı önermektedir.
Anahtar Kelimeler: Hastane, yangın güvenliği, yangın tasarımı, yatay tahliye, yangın kompartımanı, duman kontrolü, pasif yangın güvenliği.

FIRE SAFETY IN HOSPITAL BUILDINGS: CHALLENGES, DESIGN APPROACHES, AND SOLUTION PROPOSALS IN THE CONTEXT OF TURKEY

ABSTRACT
Hospitals possess distinct characteristics compared to other building types in terms of fire safety, and they are considerably more complex structures. The primary reason is that many individuals within hospitals cannot evacuate independently in the event of a fire and are dependent on medical devices and life-support systems. Furthermore, hospital buildings simultaneously accommodate a wide variety of functions. Patient rooms, intensive care units,

operating theaters, laboratories, imaging centers, kitchens, laundries, service rooms, oxygen systems, and electrical infrastructure are all located within the same facility. Therefore, fire safety in hospitals extends beyond the installation of fire detection and suppression systems.
This study addresses fire safety in hospital building design through three fundamental dimensions: passive fire safety, active fire safety, and evacuation/accessibility design. By examining legislation and academic studies in Turkey, the main challenges encountered in hospital design have been identified, and design-oriented solutions have been proposed. A significant issue facing many existing hospital buildings in Turkey is that fire safety is not considered as a holistic design parameter during the initial stages of design; instead, subsequently added active fire safety measures dominate, while operational challenges during the management phase create substantial difficulties. It has been observed that fire safety in the operational phase of hospitals in Turkey is frequently neglected, and this issue is associated with various problems related to legislation and human resources.
The principal conclusion of the study is that fire safety in hospitals must shift from a “fire extinguishing” approach to a “preventing fire from reaching the patient” approach. In this context, the study proposes a design framework that may be referred to as the “Hospital Fire Safety Design Triangle,” based on the principles of preventing fire, controlling fire, and ensuring patient safety during fire incidents.
Keywords: Hospital, fire safety, fire design, horizontal evacuation, fire compartmentation, smoke control, passive fire safety.

1. GİRİŞ

Tarih boyunca pek çok şehir, yapı ve doğal, tarihi ve mimari hazine yangınlar nedeniyle tahrip olmuştur. Bu yangınlar sadece can ve mal kaybına yol açmakla kalmamış, aynı zamanda kültürel mirasımızı ve tarihi değerlerimizi gelecek nesillere aktarmamızı da zorlaştırmıştır. Sonuç olarak, yangına dayanıklı binalar kavramı ortaya çıkmıştır. Bu tür binaların temelleri, tasarım aşamasında alınan kilit kararlarla atılır ve sürdürülebilirlikleri ise inşaat ve kullanım aşamalarında uygulanan önlemlerle sağlanır. Yangın güvenliği önlemleri genel olarak tüm binalar için benzer çözümler içerse de bina sakinlerinin hareket kabiliyeti, kaçış yollarının mesafeleri ve binanın işlevsel kullanımına göre belirlenen tahliye stratejisine bağlı olarak farklı uygulamalar da hayata geçirilebilir (Şimşek ve Akıncıtürk, 2016: 284).
Binalardaki yangın tehlikesi, yangın yükü indeksi ile belirlenir. Bu, bir bina içindeki birim alan başına düşen potansiyel yanıcı malzeme miktarıdır. Bu, binanın yoğunluğu, şekli, boyutu, yapı malzemeleri ve kullanım amacı gibi faktörlere bağlıdır. Binalar, yangın yükü indeksine göre düşük, orta, yüksek veya çok yüksek riskli olarak sınıflandırılır. Hastane binaları orta risk kategorisine girer. Hastane binalarını yangından korumak, çok sayıda birim, personel ve hasta bulunması nedeniyle zordur (Yıldız ve Çelik, 2020:169).
Hastaneler, kamu güvenliği altyapısının en kritik bileşenleri arasındadır. Ancak, bir hastanenin güvenli bir yapı olarak kabul edilmesi, yangın durumunda da öyle kalacağı anlamına gelmez. Hastaneler, elektrikli tıbbi ekipmanların ve tıbbi gaz sistemlerinin yaygın kullanımı, yanıcı maddelerin varlığı, laboratuvarlar, mutfaklar ve hizmet alanları nedeniyle kendine özgü yangın riskleri barındırır. Ayrıca, bu tesislerde kişi yoğunluğu da yüksektir. Hastanelerdeki tahliye prosedürleri, birçok hastanın yatağa, tekerlekli sandalyeye veya tıbbi cihazlara bağımlı olması nedeniyle diğer binalardakinden farklıdır.
Bir ofis çalışanı yangın sırasında merdivenlere doğru ilerleyebilirken, bir hastane hastasının yatağından çıkarılması, yaşam destek ekipmanının emniyete alınması ve tıbbi bakım almaya devam ederken sedyeyle taşınması gerekebilir. Bu nedenle, hastane yangın güvenliğindeki temel mesele sadece “İnsanları binadan nasıl çıkaracağız?” sorusu değildir. Daha doğru bir soru

şudur: "İnsanları tahliye etmek zorunda kalmadan onları güvenli bir alanda nasıl tutabiliriz?" Konuyla ilgili literatürde, hastaneler kamu güvenliği altyapısının en kritik unsurları arasında sayılmaktadır. Ancak, bir hastanenin güvenli bir yapı olarak kabul edilmesi, yangın durumunda da güvenli olacağı anlamına gelmez. Aslında hastaneler, elektrikli tıbbi ekipman ve tıbbi gaz sistemlerinin yaygın kullanımı, yanıcı maddelerin, laboratuvarların, mutfakların ve hizmet odalarının varlığı ile yüksek doluluk oranları nedeniyle kendine özgü yangın riskleri barındırır. Ayrıca birçok hasta yatağa, tekerlekli sandalyeye veya tıbbi cihazlara bağımlıdır; bu da hastanelerde yapılan tahliyelerin diğer binalardakinden farklı olduğu anlamına gelir.

Sahebi vd. (2021), hastane yangınları sırasında tahliyeyi etkileyen faktörlerin sistematik bir incelemesi, bina tasarımı, çıkışların niteliği, yatay tahliye, hasta özellikleri, personel yetkinliği ve hazırlık durumunun bir bütün olarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur.

Türkiye'de, Binaların Yangından Korunmasına İlişkin Yönetmelik, hastaneler için yasal çerçevenin temelini oluşturmaktadır. Bu yönetmelik, iki kapılı hasta odaları, korunan yatay tahliye alanları ve en az iki metre koridor genişliği gibi sağlık tesislerine yönelik özel hükümler getirmektedir.

Ancak, özellikle karmaşık ve yüksek katlı hastane binalarında yangın güvenliğini sağlamak için sadece yönetmelikte belirtilen asgari gereklilikleri karşılamak yeterli olmayabilir. Bunun nedeni, yönetmeliklere uygun bir binanın mutlaka gerçek anlamda yangına dayanıklı olduğu anlamına gelmemesidir.

Bu çalışma, hastane bina tasarımında yangın güvenliğinin temel bileşenlerini incelemek, Türkiye'deki sorunları belirlemek ve hastane yangın güvenliği tasarımına yönelik daha kapsamlı bir yaklaşım geliştirmek amacıyla yapılmıştır.

2. HASTANELERDE YANGIN GÜVENLİĞİNİN TASARIMSAL TEMELLERİ

Hastane yangınları sırasında tahliyeyi etkileyen faktörlere ilişkin sistematik bir inceleme, aşağıdakilerin bir bütün olarak değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymuştur: bina tasarımı; çıkışların niteliği, yatay tahliye; hasta özellikleri, personel yetkinliği ve hazırlık durumu.

Türkiye'de, Binaların Yangından Korunmasına İlişkin Yönetmelik, hastaneler için yasal çerçeveyi belirlemektedir. Bu yönetmelik, iki kapılı hasta odaları, korunan yatay tahliye alanları ve en az iki metre genişliğinde koridorlar gibi sağlık tesislerine yönelik özel hükümler getirmektedir.

Ancak, özellikle karmaşık ve yüksek katlı hastane binalarında, yalnızca yönetmelikte belirtilen asgari gerekliliklere uymak yeterli yangın güvenliğini sağlamayabilir. Bunun nedeni, yönetmeliklere uyumun bir binanın gerçekten yangına dayanıklı olduğu anlamına gelmemesidir.

Bu çalışmanın amacı, hastane bina tasarımında yangın güvenliğinin temel bileşenlerini incelemek, Türkiye'deki sorunları tespit etmek ve hastane yangın güvenliği tasarımına yönelik daha kapsamlı bir yaklaşım geliştirmektir (Altındaş, 2021: 916).

Hastanelerde meydana gelen yangınların başlıca nedenleri, aktif yangın algılama ve söndürme sistemlerindeki yetersizlikler, yatay tahliye yollarının bulunmaması ve hastane personelinin yangın güvenliği eğitimlerine katılmamasıdır. 2007 ile 2018 yılları arasında ülkemizdeki hastanelerde 105 yangın meydana gelmiştir. Bunların 34'ü üniversite araştırma hastanelerinde, 52'si devlet hastanelerinde ve 19'u özel hastanelerde gerçekleşmiştir. 2017 yılı itibarıyla toplam 1.518 hastanenin 879'u kamu, 571'i özel ve 68'i üniversite araştırma hastanesiydi. Bu rakamların da gösterdiği gibi, yangınların daha büyük bir kısmı üniversite araştırma hastanelerinde meydana gelmektedir (Yıldız ve Çelik, 2020:170).

2.1. Hastaneleri diğer yapılardan ayıran yangın güvenliği problemi

Sağlık sektöründeki faaliyetlerin insan hayatıyla doğrudan ilgili olması, teknolojinin yoğun kullanımı hem hizmet sunanların hem de hizmet alanların insan olması, uygulanan işlemlerin

çeşitliliği ve her hastanın özelliklerinin farklılığı, ayrıca sağlık hizmetlerinde hataya karşı toleransın düşük olması nedeniyle, diğer hizmet sektörlerine kıyasla daha büyük tehlikeler ve riskler söz konusu olabilir (Aslan, 2023: 937). Yangın güvenliği açısından hastanelerin en önemli özelliği, kullanıcılarının heterojenliğidir. Örneğin, aynı bina içinde bir ziyaretçi, yoğun bakım ünitesinde mekanik ventilatöre bağlı bir hastanın yanından geçebilir.

Bu nedenle, hastane tasarımı yalnızca kişi sayısına dayandırılamaz. Kullanıcıların hareket kabiliyeti, tıbbi bağımlılık düzeyi ve tahliye sırasında personelden ihtiyaç duyacakları destek de dikkate alınmalıdır.

Geleneksel tahliye kavramı şu anda önemli bir değişim geçirmektedir:

Sıradan binalarda güvenli tahliye "binadan çıkmak" anlamına gelirken, hastanelerde genellikle "tehlike alanından uzaklaşmak" anlamına gelir.

İşte bu nedenle yatay tahliye yaklaşımı hastanelerde bu kadar önemlidir. Türk mevzuatı, hastanelerde korumalı yatay tahliye alanları oluşturulmasını zorunlu kılar ve bu alanların hesaplanmasında kişi başına en az 2,8 m²'lik bir alan öngörür. Ayrıca, hastane koridorlarının genişliği en az 2 metre olmalıdır.

Ancak tasarım açısından daha temel bir soru sorulmalıdır:

Yangın durumunda bir hastanın sadece başka bir bölmeye taşınması yeterli midir?

Hayır, çünkü yatay tahliye, bölmelerin sadece fiziksel olarak birbirinden ayrılmasından daha fazlasını gerektirir. Dumanın bölmeler arasında geçişi engellenmeli, kapılar çalışır durumda olmalı, personel hastayı taşıyabilmeli ve güvenli alan yeterli kapasiteye sahip olmalıdır.

2.2. Pasif yangın güvenliği: Yangını büyümeden durdurmak

Pasif yangın güvenliği, yangının gelişmesini ve yayılmasını sınırlamak için otomatik bir aktivasyon sistemine değil, binanın mimari ve yapısal özelliklerine dayanır.

Hastanelerde başlıca pasif önlemler şunlardır:

- Yangın Bölmeleri;
- Yangına Dayanıklı Duvarlar ve Zeminler;
- Yangın Kapıları;
- Duman Bariyerleri;
- Dikey Şaftların Korunması;
- Yangın Damperleri;
- Yangına Dayanıklı Cepheler ve Yalıtım Sistemleri;
- Kaçış Yollarının Korunması;
- Yapısal Sistemin Yangına Dayanıklılığı.

Türkiye'de, hastaneler içindeki belirli alanların yangın bölmelerine ayrılması kanunla düzenlenmiştir.

Çelik ve Yıldız'ın (2021) Türkiye'nin pasif yangın güvenliği yönetmeliklerini uluslararası standartlarla karşılaştıran bir çalışmada, NFPA yaklaşımının hastane bölümleri konusunda daha ayrıntılı hükümler içerdiği ve ulusal mevzuatın belirli alanlarda iyileştirilmesi gerektiği belirtilmektedir.

Bu nedenle, yangın bölmeleri hastane tasarımında yalnızca bir yasal gereklilik olarak görülmemelidir.

Aslında, yangın bölmesi hastanenin yangına karşı ikinci savunma hattıdır.

İlk savunma hattı yangının çıkmasını önlemektir, ikincisi yangının çıktığı odanın ötesine yayılmasını önlemektir ve üçüncüsü ise hastaları güvenli bir alana nakletmektir.

2.3. Duman kontrolü: Hastane yangınlarının görünmeyen tehlikesi

Bir yangın sırasında duman ve zehirli yanma ürünleri, hastalar için alevler kadar büyük bir tehlike oluşturur.

Duman, bir hastane içinde, özellikle koridorlar, merdiven boşlukları, asansör şaftları, teknik

servis şaftları ve havalandırma kanalları yoluyla hızla yayılabilir.
Sahebi ve ark. (2021), dumanın görüş mesafesini azalttığını, bu durumun tahliye yollarının kullanımını zorlaştırdığını ve hastane tahliyelerini önemli ölçüde etkilediğini belirtmektedir.
Bu nedenle, yangın güvenliği açısından hastane tasarımında şunlar göz önünde bulundurulmalıdır:
"Yangın nerede?" sorusunun yanı sıra "Duman nereye gidecek?" sorusu da sorulmalıdır.
Bu yaklaşım, özellikle yoğun bakım üniteleri, ameliyathaneler ve yenidoğan üniteleri için önemlidir.

3. TÜRKİYE'DE HASTANE BİNALARINDA YANGIN GÜVENLİĞİ SORUNLARI

Ülkemizde, sağlık tesislerinin şehir hastaneleriyle entegre edilmesine yönelik projeler geliştirilmekte olup, özel hastanelerin sayısı da istikrarlı bir şekilde artmaktadır. Yüksek personel yoğunluğu, çok sayıda hasta ve tedavi gören kişilerin hareket kabiliyetinin sınırlı olması nedeniyle hastanelerde yangın güvenliği son derece büyük önem taşımaktadır. Hastaneler ayrıca laboratuvarlar, eczaneler, tıbbi atık depolama alanları, ameliyathaneler, hasta bakım odaları, yoğun bakım üniteleri, hiperbarik odalar, depo odaları, arşivler ve elektrik dağıtım odaları gibi birçok tehlikeli alanı tek bir çatı altında bir araya getirir. Hastanelerde uygulanan yangın güvenliği önlemleri ve tahliye gereklilikleri, yürürlükteki yönetmelik ve standartlara tam olarak uymak zorundadır. Bu bağlamda, hastaneler yangınla mücadeleye hazırlıklı olmalıdır (Kılıç ve Beceren, 1999).
Hastane mimarisinde genellikle iki tasarım stratejisi kullanılır: dikey ve yatay planlama. Yatak kapasitesi ve arsa özellikleri planlama sürecini etkiler. Yatak kapasitesi yüksek hastanelerde hem yatay hem de dikey planlama yaklaşımlarının bir arada kullanıldığı gözlemlenmiştir. Bu durumlarda, dikey kütle genellikle hasta bakım hizmetleri (hasta koğuşları gibi) için ayrılırken, yatay kütle diğer hizmetlere (ayakta tedavi klinikleri, acil servisler, laboratuvarlar, ameliyathaneler ve idari hizmetler gibi) tahsis edilir (Aydın, 2009).

3.1. Yönetmelik ile gerçek kullanım arasındaki boşluk

Türkiye'de hastanelerde yangın güvenliği konusunda sağlam bir düzenleyici çerçeve mevcuttur. Binaların Yangından Korunmasına İlişkin Yönetmelik, sağlık tesisleri olarak hastanelere özel olarak değinmekte ve yangın güvenliği için çeşitli tasarım kriterleri belirlemektedir.
Ancak bu konu, "Kurallar var mı?" sorusuyla basitçe açıklanamaz.
Temel sorunlardan biri şudur:
"Kurallar tasarım sürecinin ne kadar erken bir aşamasında dikkate alınır ve binanın kullanım ömrü boyunca ne kadar iyi bir şekilde uygulanır?"
Altındaş (2021), Türk hastanelerinde yangın güvenliğinin işletme aşamasında sıklıkla göz ardı edildiğini ve bunun mevzuat ve personel yeterliliği ile ilgili sorunlarla bağlantılı olduğunu göstermektedir.
Bu durum, önemli bir tasarım sorununa işaret etmektedir.
Bir hastane projesi bir mimar tarafından tasarlandığında ve yangın koruma sistemleri daha sonra eklendiğinde, yangın güvenliği tasarımın belirleyici bir unsuru olmaktan çıkıp sonradan akla gelen bir unsur haline gelir.
Bununla birlikte, yangın güvenliği:
Mimari tasarım → Mekânsal düzenleme → Yapısal sistem → Mekanik sistem → Elektrik sistemi → Yangın güvenliği bütünsel bir bütün olarak ele alınmalıdır.

3.2. Eski hastane binaları ve sonradan yapılan eklemeler

Türkiye'deki en önemli sorun alanlarından biri, mevcut hastane stoğudur.
Yeni inşa edilen hastanelerde yangın güvenliği tasarım aşamasında ele alınabilirken, eski hastanelerde mevcut yangın güvenliği tasarımını etkileyen ek faktörler şunlardır:

- Sonradan Eklenen Katlar;
- Hizmet Alanlarında Yapılan Değişiklikler;
- Koridorların Farklı Amaçlarla Kullanılması;
- Yeni Tıbbi Ekipmanların Eklenmesi;
- Elektrik Yükündeki Artış;
- Oksijen Altyapısının Genişletilmesi;
- Arşiv ve Depolama Alanlarının Genişletilmesi;
- Yangın Bölmelerinin İşlevselliğinde Bozulma.

Bu nedenle, "bina ilk inşa edildiği gün güvenliydi" varsayımına dayanan yaklaşım yetersizdir. Bir hastane, yaşayan bir organizmadır.

Yeni bir cihazın, hizmetin, kablo döşemesinin veya depolama alanının eklenmesi, hastanenin yangın riski profilini değiştirebilir.

Bu nedenle, hastanelerin periyodik olarak bir "yangın güvenliği yeniden tasarım analizi" yapmaları önerilir.

3.3. Yoğun bakım ve kritik birimlerin konumlandırılması

Yangın güvenliği açısından yoğun bakım üniteleri, bir hastanenin en hassas alanları arasındadır. Bunun nedeni, birçok hastanın kendi başına hareket edememesi ve yaşam destek cihazlarına bağımlı olmasıdır.

Yakın zamanda yapılan bir sistematik derleme, elektrik arızaları ve oksijenle ilgili olayların yoğun bakım ünitelerindeki yangınların başlıca nedenleri arasında yer aldığını göstermektedir. Derleme, elektrik ve oksijen sistemlerinin düzenli bakımının yapılmasının, otomatik yangın söndürme sistemlerinin kurulmasının, yatakların uygun şekilde düzenlenmesinin ve yatay ve dikey tahliye planlarının oluşturulmasının önemini vurgulamaktadır.

Bu nedenle, yeni hastane tasarımlarındaki yoğun bakım üniteleri şu şekilde planlanmalıdır:

- Güvenli Yangın Bölmeleri İçinde;
- Alternatif Tahliye Alanlarına Yakın;
- Yatay Tahliyeye İmkân Verecek Şekilde;
- Yeterli Manevra Alanı Sağlayacak Şekilde;
- Duman Geçişinin Kısıtlandığı Şekilde;
- İtfaiye Erişimi Dikkate Alınarak.

Benimsenebilecek yaratıcı bir tasarım ilkesi şudur:

"Yoğun bakım ünitesi için sadece bir kaçış yolu değil, güvenli bir yaşam adası tasarlanmalıdır."

Bu yaklaşımın amacı, hastaları binadan olabildiğince çabuk tahliye etmek değil, yangına dayanıklı bölmeler içinde tedavinin kesintisiz devam edebileceği güvenli alanlar oluşturmaktır.

3.4. İtfaiyenin bina tasarımına geç dâhil edilmesi

Hastane yangın güvenliği konusunda bina kullanıcıları ve mimari tasarım genellikle ön plana çıkarken, itfaiye ekiplerinin binaya nasıl müdahale edeceği konusu tasarım sürecinde her zaman yeterince dikkate alınmaz.

Oysa yangın güvenliği tasarımında kilit öneme sahip bir soru şudur:

"İtfaiye ekipleri olay yerine vardıklarında, binayı nasıl değerlendirecekler?"

İtfaiyeciler şunları yapabilmelidir:

- Ana Girişe Ulaşmak;
- Yangının Çıktığı Katı Hızlı Bir Şekilde Tespit Etmek;
- Yangın Bölmelerini Tanımak;
- Yangın Hidrantlarına Erişmek;
- Yangın Merdivenlerine Ulaşmak;
- İtfaiye Asansörünü Kullanmak; ve
- Elektrik ve Gaz Sistemlerinin Yerlerini Bilmek.

Türkiye'deki yönetmelikler, itfaiye araçlarının binalara erişimini kolaylaştıracak hükümler de içermektedir.
Bu nedenle, hastane tasarımında "itfaiyecinin bakış açısıyla tasarım" yaklaşımı benimsenebilir. Mimari tasarım, sadece hastaların ve sağlık çalışanlarının hareketleri değil, aynı zamanda yangına müdahale eden itfaiyecilerin hareket senaryoları da dikkate alınarak test edilmelidir.

4. YENİ BİR HASTANE YANGIN GÜVENLİĞİ TASARIM MODELİ: "YANGININ HASTAYA ULAŞMASINI ENGELLEMEK"

4.1. Yangın güvenliğinde paradigma değişimi

Hastanelerde, faaliyetler sırasında yangın güvenliği önlemlerinin sürekliliği sağlanmalıdır. Bu bağlamda, hastane yöneticileri aşağıdaki temel sorumlulukları yerine getirmelidir:

- Pasif yangın güvenliği önlemlerinin, tasarımda belirtildiği şekilde yapısal özelliklerini ve performanslarını korumasını sağlamak
- Sunulan hizmetlerin niteliğine uygun yangın güvenliği önlemlerini uygulamak
- Acil durumlarda hastaların tahliyesi için stratejiler geliştirmek
- Personeli bu konularda bilgilendirmek ve eğitmek
- Belirli hastane bölümleri ve tüm tesis için düzenli aralıklarla tahliye tatbikatları düzenlemek
- Yangın koruma sistemlerinin sürekli performansını garanti altına almak amacıyla ilgili standartlara uygun olarak periyodik muayene, test ve bakımdan geçirilmesini sağlamak (Altındaş, 2021: 922).

Hastanelerde yangın güvenliğine yönelik geleneksel yaklaşım genellikle şu şekilde yapılandırılmıştır:
Yangın → alarm → müdahale → tahliye.
Ancak, hastaneler için daha gelişmiş bir yaklaşım şu şekilde olmalıdır:
Risk → önleme → algılama → kontrol altına alma → yatay tahliye → kontrollü müdahale → gerekirse dikey tahliye.
Buradaki temel fikir şudur:
Bir hastane hastasını tahliye etmenin en güvenli yolu, onu mutlaka binadan dışarı çıkarmak değildir; bazen onu aynı bina içindeki başka bir kata taşımak daha güvenli olabilir.
Sahebi ve ark. (2021) tarafından yapılan sistematik bir derleme de hastane tahliyesinin bina tasarımı, hasta özellikleri, personel, planlama ve hazırlık gibi birçok değişkenin etkilediği karmaşık bir süreç olduğunu göstermektedir.

4.2. "Üçlü Savunma Hattı" modeli

Bu çalışma, hastanelerde yangın güvenliği için üç aşamalı bir tasarım modeli önermektedir.

Birinci Aşama: YANGINI ÖNLEME

Amaç, yangın çıkma olasılığını azaltmaktır.
Bu amaçla aşağıdaki önlemler alınmalıdır:

- Elektrik altyapısı güvenli bir şekilde tasarlanmalıdır.
- Oksijen sistemleri güvenli bir şekilde planlanmalıdır.
- Teknik alanlar birbirinden ayrılmalıdır.
- Yanıcı maddelerin depolanması kısıtlanmalıdır.
- Mutfaklar ve çamaşır odaları gibi yüksek riskli alanlar birbirinden ayrılmalıdır.
- Bakım ve denetim kolaylığı sağlanmalıdır.

İkinci Aşama: YANGINI HAPSET

Bir yangın çıktığında amaç, yangının tüm binaya yayılmasını önlemektir.
Bu, yangın bölmeleri, duman bölmeleri, yangın kapıları, yangına dayanıklı yapısal elemanlar, şaftların korunması ve duman kontrol sistemlerinin birbiriyle uyumlu çalışmasını sağlayarak başarılabilir.

Üçüncü Aşama: HASTANIN GÜVENLİĞİNİ SAĞLAMAK

Bir yangın bölmesi içinde bulunan hastalar güvenli bir alana taşınmalıdır.

Bu, yatak geçişine uygun kapılar, güvenli bekleme alanları, alternatif kaçış yolları ve personel-hasta tahliye planları ile yatay tahliye yolları tasarlanarak sağlanabilir.

Bu modelin temel felsefesi şu şekilde özetlenebilir:

"Yangın söndürme, son savunma hattıdır. İyi tasarlanmış bir hastanede birincil amaç, yangının hastaya ulaşmasını önlemektir."

4.3. Dijital yangın güvenliği ve simülasyon

Geleceğin hastanelerinde yangın güvenliği hem fiziksel sistemler hem de dijital modeller kullanılarak test edilmelidir.

Tasarım aşamasında yangın ve tahliye simülasyonları, aşağıdakileri analiz etmek için kullanılabilir:

- Yangının Yayılma Süresi;
- Dumanın Hareketi;
- Koridorların Kullanılabilirlik Süresi;
- Hastaların Yataklarından Tahliye Süresi;
- Personel İhtiyacı;
- Bölme Kapasitesi;
- İtfaiyenin Binaya Müdahale Süresi.

2025 yılında yapılan bir çalışma, hastanelerde güvenli çıkış tasarımını etkileyen çok sayıda faktörü sistematik olarak incelemiş ve hasta hareket kabiliyeti ile bina tasarımının birlikte değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamıştır.

Bu yaklaşım, Türkiye için, özellikle de yeni kentsel hastaneler açısından büyük önem taşımaktadır.

Bunun nedeni, çok büyük ve karmaşık hastane kampüslerinde sadece "Kaçış mesafesi yeterli mi?" diye sormak yetersiz kalmasıdır.

Daha kapsamlı bir soru sorulmalıdır:

"Sabah saat 03.00'te yoğun bakım ünitesinde yangın çıkarsa, o vardiyada görevde olan kaç hasta ve personel, hangi güzergâh üzerinden ve kaç dakika içinde güvenli bir bölmeye tahliye edilebilir?"

Gerçek yangın güvenliği tasarımı, bu soruya cevap verebilmelidir.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Geleneksel anlamıyla, hastane binalarındaki yangın güvenliği yalnızca bir "yangın koruma sistemi meselesi" değildir. Aksine, mimari, yapı, mekanik, elektrik, yönetim ve insan faktörlerini kapsayan çok disiplinli bir konudur.

Türkiye'de hastanelerde yangın güvenliği konusunda önemli yasal düzenlemeler bulunmaktadır. Yatay tahliye yolları, çift kapılı hasta odaları ve minimum koridor genişlikleri dahil olmak üzere sağlık tesisleri için özel düzenlemeler getirilmiştir.

Ancak literatür, Türk hastanelerinde yangın güvenliği operasyonları, personel ve pasif yangın güvenliği açısından iyileştirme gerektiren alanlara işaret etmektedir.

Bu nedenle, hastane yangın güvenliğinde sadece "yönetmeliklere uyum" odaklı yaklaşımdan "risk temelli tasarım" yaklaşımına doğru bir zihniyet değişikliği gerekmektedir.

Bu çalışmada önerilen yaklaşım üç temel ilkeye dayanmaktadır:

1. Yangını önlemek.
2. Yangını bir bölme içinde sınırlamak.
3. Hastaları binadan tahliye etmeden önce güvenli bir bölmeye taşımak.

Bu yaklaşım, özellikle hastane tasarımının ilk aşamalarında mimarlar, inşaat mühendisleri, makine mühendisleri, elektrik mühendisleri, yangın güvenliği uzmanları, hastane yöneticileri

ve itfaiye teşkilatları arasında iş birliğini gerektirir.
Bu da önemli bir tasarım önerisini ortaya çıkarır:
"Hastaneyi, yangından kaçılan bir bina olarak değil, yangın sırasında yaşamın sürdürülebileceği bir bina olarak tasarlayın."
Bu paradigma değişikliği, yoğun bakım ve kritik bakım üniteleri barındıran tesislerde özellikle önemlidir. Bunun nedeni, bazı hastalar için merdivenlerden inmenin zor, hatta tıbbi açıdan imkânsız olabilmesidir.
Bu nedenle, geleceğin hastanelerinin yangın güvenliği, acil durum merdivenlerinin veya yangın söndürücülerinin sayısına göre değil, yangının hastalara ulaşması için geçen süreye ve yangının kaç bölmede kontrol altına alınabileceğine göre değerlendirilmelidir. Alarm sisteminin etkinliği ise, doğru bilgiyi doğru kişiye ne kadar erken ve doğru bir şekilde ilettiğine göre değerlendirilmelidir.
Hastanelerin yangın güvenliği önlemlerine uygun olarak tasarlanması, yangınla mücadele açısından hayati önem taşır. Temel amaç, öncelikle yangınların çıkmasını önlemek, çıktıklarında hızlı bir şekilde tespit edip söndürmek ve yayılmalarını veya büyümesini engellemektir. Bunu başarmak için hem aktif hem de pasif yangın güvenliği önlemlerinin uygulanması gerekir. Hastane yönetim sistemine uygun bir risk değerlendirmesi yapılmalı ve ilgili alanlara uygun yangın söndürme ve algılama sistemleri kurulmalıdır. Hastanede kör noktaların kalmamasını sağlamak için, uygun tipte ve yeterli sayıda sesli, görsel veya ışık tabanlı alarmlara sahip yangın algılama sistemleri kurulmalıdır. Tesis içindeki tüm yanıcı maddeler, çevresel koşullar ve kullanıcı profilleri proaktif yöntemler kullanılarak değerlendirilmelidir. Yanıcı maddelerin özelliklerine göre tüm birimlerde uygun yangın söndürücüler bulundurulmalıdır. Ayrıca, doktorlar, hemşireler ve diğer sağlık personeli yangın güvenliği ve tahliye prosedürleri konusunda eğitim almalıdır. Tüm bu önlemler alındığında, yangınların çıkması veya yayılması önlenecek ve herhangi bir kayıp yaşanmayacaktır (Yıldız ve Çelik, 2020:179).
Sonuç olarak, hastane tasarımında yangın güvenliğinin temel amacı, binayı tahliye etmekten ziyade, yangın durumunda yaşamın devam etmesini sağlamak olmalıdır. Bir hastane, yangın durumunda terk edilmesi gereken bir yapı olarak değil, her şeyden önce hastaları koruyabilecek bir yangın güvenliği sistemi olarak tasarlanmalıdır.

KAYNAKÇA

Altındaş, S., 2021, Hastanelerde yangın güvenliği: Konunun Türkiye bağlamında incelenmesi ve bir politika önerisi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 36(2), 913–924. https://doi.org/10.17341/gazimmfd.640353
Aslan, Yasemin, 2023, Hastane Tesis Yönetimi Süreçleri Risk Analizinin Fine-Kinney Metodu ile Değerlendirilmesi. Hacettepe Sağlık İdaresi Dergisi, 26(4), 935-958. https://doi.org/10.61859/hacettepesid.1289176
Aydın, D., 2009, Hastane Mimarisi, İlkeler ve Ölçütler, Mimarlar Odası, Konya Şubesi.
Çelik, G., & Yıldız, Z. (2021). Hastanelerde pasif yangın güvenlik önlemlerinin ulusal ve uluslararası mevzuatlara göre karşılaştırılması. Karaelmas İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi, 5(1).
Fahmi, M., Purushothaman, M. B., Rotimi, F. E., & GhaffarianHoseini, A. (2026). Interactions and connections of safe egress factors in hospital designs. Smart and Sustainable Built Environment, 15(4), 1590–1623. https://doi.org/10.1108/SASBE-06-2025-0307
İncesu, E., 2019, Sağlık hizmetlerinde kurumsal risk yönetim modeli önerisi. Sağlıkta Kalite ve Akreditasyon Dergisi, 2(2), 47-53.
Kılıç A., Beceren K., (1999), Mimari tasarımda yangın güvenliği, IV. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi, 4-7 Kasım, İzmir.
Sahebi, A., Jahangiri, K., & Alibabaei, A. (2021). Factors influencing hospital emergency

evacuation during fire: A systematic literature review. International Journal of Preventive Medicine, 12, 147. https://doi.org/10.4103/ijpvm.IJPVM_653_20

Şimşek Z., Akıncıtürk N., 2016, Sağlık Yapılarının Yangından Korunma Yönetmeliğinin Eksik Yönleri ve Öneriler, Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Cilt 21, Sayı 2, DOI: 10.17482/uumfd.276887

Türkiye Cumhuriyeti. (2007). Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik. Resmî Gazete, 26735.

Türkiye Cumhuriyeti Sağlık Bakanlığı. (2011). Hasta ve çalışan güvenliğinin sağlanmasına dair yönetmelik. Resmî Gazete.

Yıldız, Zehra ve Çelik, Gülendam, 2020, Son Yıllarda Meydana Gelen Hastane Yangınları ve Nedenleri Üzerine Bir Araştırma, Artvin Çoruh Üniversitesi Doğal Afetler Uygulama ve Araştırma Merkezi Doğal Afetler ve Çevre Dergisi, 6(1): 169-180, DOI: 10.21324/dacd.603275

3-ALKİL/ARİL-4-(5-METİL-2-TİENİLMETİLENAMİNO)-4,5-DİHİDRO-1*H*-1,2,4-TRİAZOL-5-ON TÜREVLERİNİN ANTİMİKROBİYAL AKTİVİTELERİNİN İNCELENMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Önder ALBAYRAK
Kafkas Üniversitesi, Atatürk Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikleri Bölümü, Kars, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-6573-6137
Dr. Öğr. Üyesi Fevzi AYTEMİZ
Kafkas Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü, Kars, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-5982-9038

ÖZET

Bu çalışmada, 3-Alkil/aril-4-(5-metil-2-tienilmetilenamino)-4,5-dihidro-1*H*-1,2,4-Triazol-5-On yapısına sahip türevlerin antibakteriyel ve antifungal aktivitelerinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında daha önce sentezlenmiş olan dokuz farklı 1,2,4-triazol-Schiff bazı türevinin biyolojik aktiviteleri incelenmiştir. Test bileşiklerinin antimikrobiyal etkinlikleri, *Bacillus subtilis* ATCC 11774, *Bacillus cereus* ATCC 11778, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 4352, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *Serratia marcescens* ATCC138880 ve *Candida albicans* ATCC 60193 suşlarına karşı agar kuyucuk difüzyon yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. Bileşiklerin oluşturduğu inhibisyon zonları ampisilin, neomisin ve streptomisin standartları ile karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, incelenen türevlerin mikroorganizma türüne ve moleküler yapıya bağlı olarak değişen düzeylerde antibakteriyel aktivite sergilediğini ortaya koymuştur. Tablo incelendiğinde, sentezlenen 3a–3i kodlu bileşiklerin test edilen mikroorganizmalar üzerindeki antimikrobiyal aktivitelerinin farklı düzeylerde olduğu görülmektedir. Bileşikler genel olarak değerlendirildiğinde, 3e bileşiğinin en geniş antimikrobiyal aktivite spektrumunu gösterdiği belirlenmiştir. Bu bileşik *B. subtilis, B. cereus, K. pneumoniae, S. marcescens ve C. albicans* üzerinde sırasıyla 8, 8, 8, 8 ve 8 mm inhibisyon zonları oluşturmuş, ancak *S. aureus* üzerinde aktivite göstermemiştir. Bu sonuç, 3e bileşiğinin hem Gram-pozitif hem de Gram-negatif bakteriler ile maya türü üzerinde etkili olabildiğini göstermektedir. 3a, 3c ve 3d bileşikleri yalnızca *B. subtilis* üzerinde 8 mm inhibisyon zonu oluştururken, 3b ve 3g bileşiklerinin yalnızca *S. marcescens* üzerinde sırasıyla 9 ve 8 mm zon oluşturduğu görülmüştür. 3h bileşiği *B. subtilis* (8 mm) ve *S. marcescens* (8 mm) üzerinde aktivite gösterirken, 3i bileşiği *S. marcescens* (10 mm) ve *C. albicans* (8 mm) üzerinde aktivite göstermiştir. Bu sonuçlar özellikle 3i bileşiğinin *S. marcescens* üzerinde 10 mm ile sentezlenen bileşikler arasında en yüksek inhibisyon zonunu oluşturduğunu göstermektedir. Bileşiklerin aktiviteleri standart antibiyotiklerle karşılaştırıldığında, test edilen bileşiklerin inhibisyon zonlarının neomisin, ampisilin ve streptomisine kıyasla daha düşük olduğu görülmektedir. Bununla birlikte, DMSO'nun inhibisyon oluşturmaması, gözlenen aktivitelerin çözücü kaynaklı olmadığını desteklemektedir. Genel olarak değerlendirildiğinde, özellikle 3e ve 3i bileşiklerinin farklı mikroorganizmalar üzerindeki aktiviteleri, bu yapıların antimikrobiyal potansiyellerinin daha ayrıntılı olarak araştırılabileceğini göstermektedir.

Keywords: 1,2,4-Triazol, Schiff bazı, Antibakteriyal, Antifungal

INVESTIGATION OF THE ANTIMICROBIAL ACTIVITIES OF 3-ALKYL/ARYL-4-(5-METHYL-2-THIENYLMETHYLENEAMINO)-4,5-DIHYDRO-1*H*-1,2,4-TRIAZOL-5-ONE DERIVATIVES

ABSTRACT

This study aimed to determine the antibacterial and antifungal activities of derivatives with the structure 3-alkyl/aryl-4-(5-methyl-2-thienylmethyleneamino)-4,5-dihydro-1H-1,2,4-triazol-5-one. The biological activities of nine different 1,2,4-triazol-Schiff base derivatives previously synthesized were investigated. The antimicrobial efficacy of the test compounds was evaluated against *Bacillus subtilis* ATCC 11774, *Bacillus cereus* ATCC 11778, *Klebsiella pneumoniae* ATCC 4352, *Staphylococcus aureus* ATCC 6538, *Serratia marcescens* ATCC 138880, and *Candida albicans* ATCC 60193 strains using the agar well diffusion method. The inhibition zones formed by the compounds were compared with ampicillin, neomycin, and streptomycin standards. The results obtained revealed that the derivatives examined exhibited varying levels of antibacterial activity depending on the microorganism species and molecular structure. When the table is examined, it is seen that the synthesized compounds coded 3a–3i have different levels of antimicrobial activity on the tested microorganisms. When the compounds are evaluated generally, compound 3e was determined to show the broadest spectrum of antimicrobial activity. This compound formed inhibition zones of 8, 8, 8, 8, and 8 mm on B. subtilis, *B. cereus, K. pneumoniae, S. marcescens*, and *C. albicans*, respectively, but showed no activity on *S. aureus*. This result indicates that compound 3e is effective against both Gram-positive and Gram-negative bacteria and yeast species. Compounds 3a, 3c, and 3d formed an 8 mm inhibition zone only on *B. subtilis*, while compounds 3b and 3g formed 9 and 8 mm zones on *S. marcescens*, respectively. Compound 3h showed activity on both *B. subtilis* (8 mm) and *S. marcescens* (8 mm), while compound 3i showed activity on both *S. marcescens* (10 mm) and *C. albicans* (8 mm). These results specifically indicate that compound 3i formed the highest inhibition zone among the synthesized compounds, at 10 mm, on *S. marcescens*. When the activities of the compounds were compared with standard antibiotics, the inhibition zones of the tested compounds were found to be lower compared to neomycin, ampicillin, and streptomycin. However, the lack of inhibition from DMSO supports the idea that the observed activities are not solvent-related. Overall, the activities of compounds 3e and 3i in particular against different microorganisms suggest that the antimicrobial potential of these structures can be investigated in more detail.

Keywords: 1,2,4-Triazole, Schiff base, Antibacterial, Antifungal

GİRİŞ

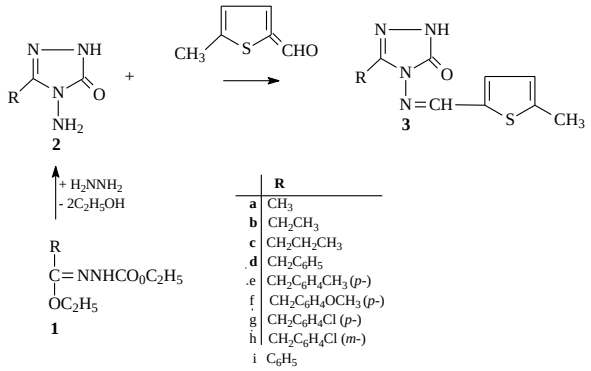
Mikrobiyal enfeksiyonların tedavisinde uzun yıllardır kullanılan antibiyotik ve antifungal ajanlara karşı gelişen direnç, günümüzde önemli bir halk sağlığı sorunu hâline gelmiştir (Ranjbar ve Alam, 2022; Marston ve ark., 2016). Özellikle çoklu ilaç direnci gösteren bakteriler ve fırsatçı patojen mantarların neden olduğu enfeksiyonların artması, yeni antimikrobiyal bileşiklerin geliştirilmesine olan ihtiyacı artırmıştır (Coordination, 2022; World Health Organization, 2023). Bu nedenle yeni ve etkili antimikrobiyal yapıların araştırılması güncel çalışmaların önemli konularından biridir.

Heterosiklik bileşikler, yapısal çeşitlilikleri ve biyolojik hedeflerle etkileşim kurabilmeleri nedeniyle ilaç geliştirme çalışmalarında önemli bir yere sahiptir. Schiff bazları ise primer aminlerin aldehit veya ketonlarla kondenzasyonu sonucu oluşan ve yapısında azometin (-CH=N-) grubu bulunan bileşiklerdir. Sentezlerinin kolay olması ve farklı fonksiyonel gruplarla modifiye edilebilmeleri, bu bileşikleri biyolojik aktivite çalışmalarında önemli hâle getirmiştir

(Kajal ve ark., 2013; Jorge ve ark., 2024). Özellikle 1,2,4-triazol halkasının Schiff bazı yapısına eklenmesi, ortaya çıkan bileşiklerin biyolojik özelliklerini çeşitlendirmektedir. Üç azot atomu içeren 1,2,4-triazol halkası; hidrojen bağı oluşturabilmesi, elektronik özellikleri ve metabolik kararlılığı nedeniyle önemli bir farmakofor olarak kabul edilmektedir (Kaur ve ark., 2016; Gupta ve ark., 2023). Triazol halkası içeren Schiff bazlarının hem Gram-pozitif hem de Gram-negatif bakterilere karşı antibakteriyel aktivite gösterdiği bildirilmiştir (Ergüden ve ark., 2026; Chohan ve ark., 2013). Bu aktivitenin hücre duvarı ve hücre zarı bütünlüğünün bozulması, nükleik asit sentezinin engellenmesi ve bakteriyel enzimlerin inhibisyonu gibi farklı mekanizmalarla ilişkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca Schiff bazlarında bulunan azometin grubunun metal iyonlarıyla kompleks oluşturabilmesi, bileşiklerin biyolojik sistemlerle etkileşimini etkileyebilmektedir (Kajal ve ark., 2013; Chohan ve ark., 2013). Moleküler kenetlenme çalışmalarında ise bazı triazol-Schiff bazı türevlerinin DNA giraz, topoizomeraz IV ve dihidrofolat redüktaz gibi önemli bakteriyel enzimlerle etkileşim gösterebildiği bildirilmiştir (Ergüden ve ark., 2026). Bunun yanında, aromatik halkaya bağlı hidroksi, metoksi, halojen ve nitro gibi sübstitüentlerin bileşiklerin antimikrobiyal aktivitelerini etkileyebildiği belirtilmiştir (Jorge ve ark., 2024).

Triazol içeren Schiff bazlarının antifungal aktiviteleri de dikkat çekmektedir. Özellikle *Candida* spp. ve *Aspergillus* spp. gibi fungal patojenlere karşı farklı düzeylerde aktiviteler bildirilmiştir. Triazol grubunun mantar hücre zarının temel bileşeni olan ergosterolün biyosentezinde görev alan sitokrom P450 bağımlı 14α-demetilaz enzimi ile etkileşebilmesi, bu bileşiklerin antifungal araştırmalardaki önemini artırmaktadır. Ayrıca bazı türevlerin hücre zarı geçirgenliğini değiştirdiği, reaktif oksijen türlerinin oluşumunu artırdığı ve fungal hücre metabolizmasını etkileyerek büyümeyi baskıladığı bildirilmiştir.

Son yıllarda triazol halkası içeren Schiff bazları; kolay sentezlenebilmeleri, yapısal olarak çeşitlendirilebilmeleri ve farklı biyolojik hedeflerle etkileşebilmeleri nedeniyle medicinal kimya çalışmalarında ilgi görmektedir (Zafar ve ark., 2021). Bu kapsamda, çalışmada daha önce sentezlenerek literatüre kazandırılmış 3-Alkil/aril-4-(5-metil-2-tienilmetilenamino)-4,5-Dihidro-1*H*-1,2,4-Triazol-5-On türevlerinin antibakteriyel ve antifungal aktivitelerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır (Gürsoy Kol ve ark., 2012). Elde edilen sonuçların, bu bileşiklerin antimikrobiyal özelliklerinin değerlendirilmesine ve yapı-aktivite ilişkilerinin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir.



Şema 1. 3a-3i Bileşiklerinin sentez rotası

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Bu çalışmada, 3-alkil(aril)-4-amino-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on (2a-2i) bileşikleri 5-metiltiyofen-2-karboksialdehit ile reaksiyona sokularak karşılık gelen dokuz adet literatüre kayıtlı 3-Alkil/aril-4-(5-metil-2-tienilmetilenamino)-4,5-Dihidro-1*H*-1,2,4-Triazol-5-on türevleri (3a-3i) bileşikleri elde edilmiştir. (Gürsoy Kol ve ark., 2012). Sentez rotası şema 1 de

gösterilmiştir.

Çalışmada kullanılan kimyasal maddeler Fluka, Aldrich ve Merck firmalarından temin edilmiştir. Analizlerde çözücü olarak DMSO-d_6 (dimetil sülfoksit-d_6) kullanılmıştır. Antimikrobiyal aktivite çalışmalarında test mikroorganizmaları olarak *Bacillus cereus* (ATCC 11778), *Bacillus subtilis* (ATCC 11774), *Staphylococcus aureus* (ATCC 6538), *Serratia marcescens* (ATCC 13880), *Klebsiella pneumoniae* (ATCC 4352) ve *Candida albicans* (ATCC 60193) kullanılmıştır. Test mikroorganizmaları, Mikrobiyolojik Çevre Koruma Laboratuvarları (Fransa) firmasından temin edilmiştir. Mikroorganizmaların süspansiyon yoğunluğunun belirlenmesinde VELP marka türbidimetre kullanılmıştır. Mikroorganizmaların inkübasyonu NÜVE marka etüvde gerçekleştirilmiş, çözeltilerin hazırlanması ve aktarılması işlemlerinde otomatik pipetlerden yararlanılmıştır. Kullanılan cam malzemelerin ve gerekli laboratuvar ekipmanlarının sterilizasyonu ise NÜVE marka otoklav kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Tablo 1. Biyolojik aktivite için kullanılan bileşiklerin kodları ve UIPAC isimleri

Bileşik Kodu	Bileşik İsmi
3a	3-Metil-4-(5-metil-2-tienilmetilenamino)-4,5-Dihidro-1*H*-1,2,4-Triazol-5-on
3b	3-Etil-4-(5-metil-2-tienilmetilenamino)-4,5-Dihidro-1*H*-1,2,4-Triazol-5-on
3c	3-Propil-4-(5-metil-2-tienilmetilenamino)-4,5-Dihidro-1*H*-1,2,4-Triazol-5-on
3d	3-Benzil-4-(5-metil-2-tienilmetilenamino)-4,5-Dihidro-1*H*-1,2,4-Triazol-5-on
3e	3-*p*-Metilbenzil-4-(5-metil-2-tienilmetilenamino)-4,5-Dihidro-1*H*-1,2,4-Triazol-5-on
3f	3-*p*-Metoksibenzil-4-(5-metil-2-tienilmetilenamino)-4,5-Dihidro-1*H*-1,2,4-Triazol-5-on
3g	3-*p*-Klorobenzil-4-(5-metil-2-tienilmetilenamino)-4,5-Dihidro-1*H*-1,2,4-Triazol-5-on
3h	3-*m*-klorobenzil-4-(5-metil-2-tienilmetilenamino)-4,5-Dihidro-1*H*-1,2,4-Triazol-5-on
3i	3-Fenil-4-(5-metil-2-tienilmetilenamino)-4,5-Dihidro-1*H*-1,2,4-Triazol-5-on

Kullanılan Mikroorganizmalar

Bacillus subtilis (Bs.), çevrede yaygın olarak bulunan, Gram-pozitif ve spor oluşturan bir bakteridir. Başlıca toprak, su ve toz gibi doğal ortamlarda bulunmakta ve özellikle gıdalarda çevresel kontaminasyona neden olabilmektedir. Aerobik veya fakültatif anaerobik özellik gösteren *B. subtilis*, bazı oküler enfeksiyonlarla da ilişkilendirilmiştir (Wikipedia, 2024).

Bacillus cereus (Bc.), Gram-pozitif, spor oluşturan ve çubuk şeklinde bir bakteridir. Toprak ve gıdalar başta olmak üzere çeşitli çevresel ortamlarda yaygın olarak bulunur. Spor oluşturma özelliği sayesinde çevresel koşullara yüksek direnç gösterir. Ürettiği toksinler aracılığıyla emetik ve diyareik gıda zehirlenmelerine neden olabilmektedir (Aytemiz, 2020; Öztay ve ark., 2007).

Klebsiella pneumoniae (Kp.), Gram-negatif, hareketsiz, sporsuz ve kapsüllü bir bakteridir. İnsan ve hayvanların bağırsak florasında bulunabilen fırsatçı bir patojen olup, özellikle solunum yolu ve üriner sistem enfeksiyonlarıyla ilişkilendirilmektedir. Hastane kaynaklı enfeksiyonlarda da önemli bir etken olarak bildirilmektedir (Aytemiz, 2020; Bankoğlu ve ark., 2021; Ulufer ve ark., 2022).

Staphylococcus aureus (Sa.), Gram-pozitif, katalaz-pozitif ve *Staphylococcaceae* familyasına ait fırsatçı bir patojendir. Kanlı agarda karakteristik altın sarısı koloniler oluşturması nedeniyle

bu isimle adlandırılmıştır. Çevresel yüzeylerde uzun süre canlılığını sürdürebilmesi, yayılımını ve klinik önemini artırmaktadır (Aytemiz, 2020; Öztay ve ark., 2007).

Serratia marcescens (Sm.), Enterobacterales takımına ait Gram-negatif, hareketli ve fakültatif anaerob bir bakteridir. Su, toprak ve nemli ortamlarda yaygın olarak bulunan bu mikroorganizma, özellikle hastane kaynaklı üriner sistem, solunum yolu ve yara enfeksiyonlarında fırsatçı patojen olarak rol oynayabilmektedir. Ayrıca bakteriyemi ve sepsis gibi ciddi enfeksiyonlara neden olabilmesi ve çeşitli antibiyotik direnç mekanizmalarına sahip olması klinik önemini artırmaktadır (Hejazi ve Falkiner, 1997; Mahlen, 2011).

Candida albicans **(Ca.), insan mikrobiyotasının doğal bir üyesi olarak bulunabilen fırsatçı bir fungal patojendir. Sağlıklı bireylerde genellikle kommensal özellik gösterirken, bağışıklık sistemi baskılanmış bireylerde mukozal ve sistemik enfeksiyonlara neden olabilmektedir (Lu ve ark., 2021; Zhao ve ark., 2021)**

Agar Kuyucuk Difüzyon Yöntemi

Heterosiklik bileşiklerin antimikrobiyal aktivitelerinin belirlenmesinde agar kuyucuk difüzyon yöntemi kullanılmıştır (Aytemiz, 2020; Pérez ve ark., 1990; Ahmad ve ark., 1998). Test mikroorganizmaları, bir gece önceden inkübe edilen kültürlerden hazırlanmış ve Mueller-Hinton sıvı besiyerinde yaklaşık 10^6 CFU/mL yoğunluğa standardize edilmiştir. Hazırlanan mikrobiyal süspansiyonlar, Mueller-Hinton agar yüzeyine homojen olarak yayılmıştır. Besiyeri üzerinde steril cam borular kullanılarak 5 mm çapında kuyucuklar oluşturulmuş ve kuyucuklara test bileşiklerinin stok çözeltilerinden 50 µL (250–500 µg/mL) ilave edilmiştir. Bakteri içeren petri kapları 37 °C'de 24 saat, *Candida albicans* içeren petri kapları ise 48 saat inkübe edilmiştir. İnkübasyon sonunda oluşan inhibisyon zonlarının çapları milimetre (mm) cinsinden ölçülmüştür.

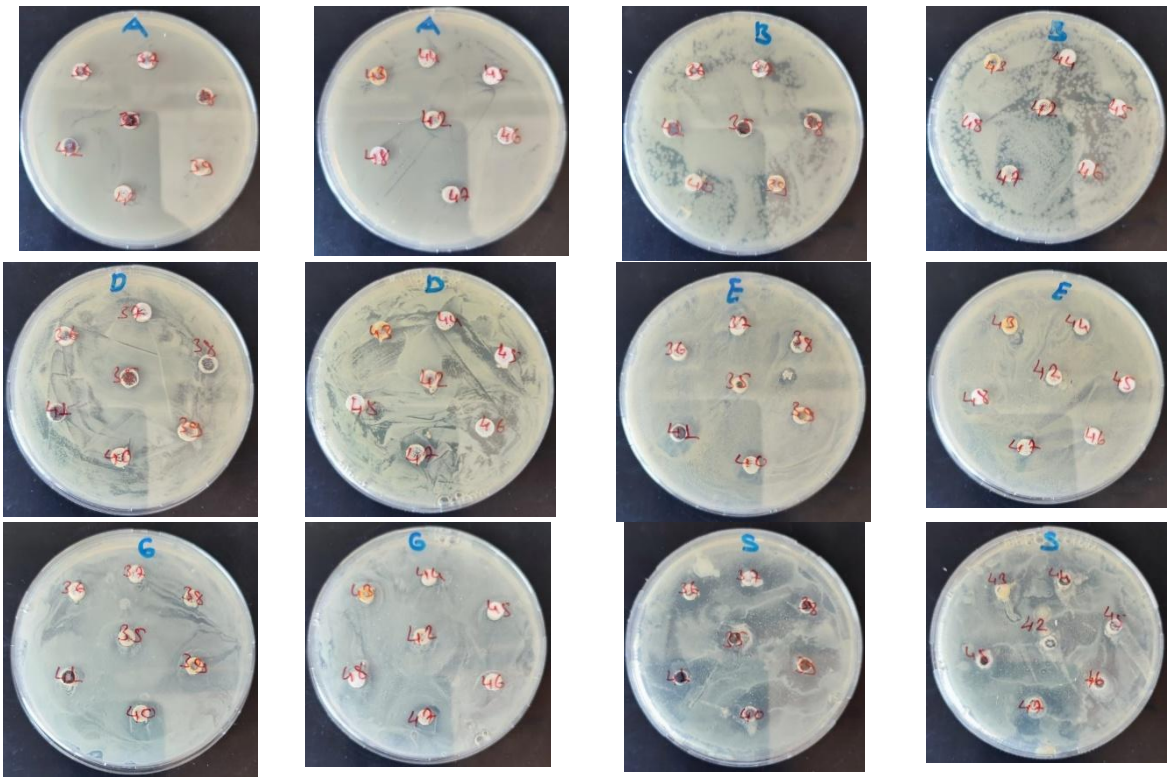
Antimikrobiyal aktivitelerin karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi amacıyla ampisilin, neomisin ve streptomisin standart antibiyotikler olarak kullanılmış ve DMSO içerisinde hazırlanarak kontrol grubu olarak değerlendirilmiştir (Aytemiz, 2020).

Tablo 2. Antimikrobiyal aktivite;

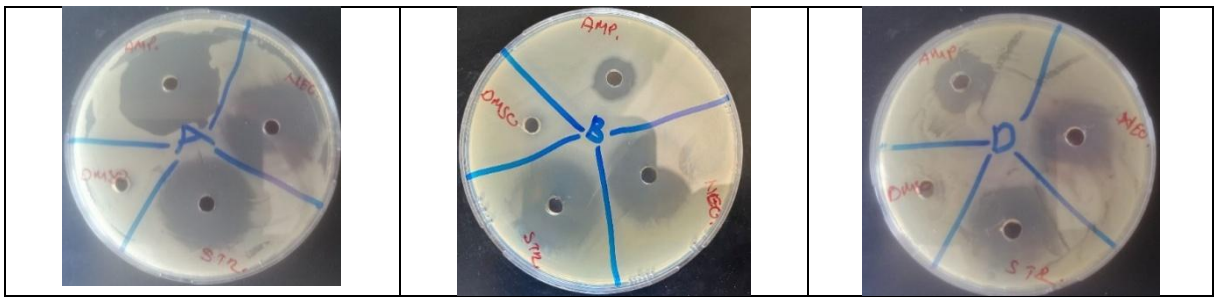
Petri Kodu	Bileşik Kodu	**(A) Bs** (*Bacillus Subtilis*) ATCC 11774	**(B) *Bc*** (*Bacillus Cereus*) ATCC 11778	**(D) *Kp*** (*Klebsiella Pneumoniae*) ATCC 4352	**(E) *Sa*** (*Staphylococcus Aureus*)	**(S)** S. marcescens ATCC138880	**(G) Ca** (Candida Albicans) ATCC 60193
35	3a	8	-	-	-	-	-
36	3b	-	-	-	-	9	-
37	3c	8	-	-	-	-	-
38	3d	8	-	-	-	-	-
39	3e	8	8	8	-	8	8
40	3f	-	-	-	-	-	8
41	3g	-	-	-	-	8	-

42	3h	8	-	-	8	-	-
43	3i	-	-	-	-	10	8
DMSO	Dimetilsülfoksit	-	-	-	-	-	
NEO.	Neomycin trisulfate salt hydrate	26	27	24	24	23	27
AMP.	Ampulicilin sodıum	32	13	19	19	18	25
STR.	Streptpmycin sulfate	29	27	26	26	25	30

Bs: *Bacillus subtilis* (ATCC-11774), Bc: *Bacillus cereus* (ATCC-11778), Kp: *Klebsiella pneumoniae* (ATCC-4352) Sa: *Staphylococcus aureus* (ATCC-6538, Sm *S. Marcescens*, Ca *Candida albicans* (ATCC 60193) Amp.: Ampicillin (X3261), Neo.: Neomycin (X3360), Str.: Streptomycin (X3385).



Şekil 1. Antimikrobiyal aktivite testlerinde kullanılan bileşiklerin (3a-3i) mikroorganizmalar üzerindeki inhibisyon zonlarının petri görselleri.





Şekil 2. Antimikrobiyal aktivite testlerinde kullanılan standartların mikroorganizmalar üzerindeki inhibisyon zonlarının petri görselleri

Tablo 2'deki bileşikler genel olarak **düşük düzeyde** antimikrobiyal aktivite göstermiştir. Hiçbir bileşik, pozitif kontrol olarak kullanılan **Neomisin**, **Ampisilin** ve **Streptomisin** kadar yüksek inhibisyon zonu oluşturmamıştır. DMSO' nun hiçbir mikroorganizmaya karşı inhibisyon göstermemesi, gözlenen etkinliğin çözücüden değil sentezlenen bileşiklerden kaynaklandığını göstermektedir.

Mikroorganizmalara Göre Antimikrobiyal Aktivitenin Değerlendirilmesi

1. *Bacillus subtilis* (Gram-pozitif)

Sentezlenen bileşikler içerisinde yalnızca 3a, 3c, 3d, 3e ve 3h bileşiklerinin *B. subtilis* üzerinde 8 mm inhibisyon zonu oluşturduğu belirlenmiştir. Diğer bileşiklerde inhibisyon zonu gözlenmemiştir. Bu sonuç, sentezlenen bileşiklerin *B. subtilis* üzerindeki antibakteriyel etkilerinin sınırlı olduğunu göstermektedir.

2. *Bacillus cereus* (Gram-pozitif)

B. cereus üzerinde sadece 3e bileşiğinin 8mm inhibisyon zonu oluşturmuş. Diğer bileşiklerde belirgin bir inhibisyon gözlenmemiştir.

3. *Klebsiella pneumoniae* (Gram-negatif)

K. pneumoniae üzerinde sadece 3e bileşiğinin 8mm inhibisyon zonu oluşturmuş. Diğer bileşiklerde belirgin bir inhibisyon gözlenmemiştir.

4. *Staphylococcus aureus* (Gram-pozitif)

Staphylococcus aureus üzerinde sadece 3h bileşiğinin 8mm inhibisyon zonu oluşturmuş. Diğer bileşiklerde belirgin bir inhibisyon gözlenmemiştir.

5. *Serratia marcescens* (Gram-negatif)

Test edilen mikroorganizmalar arasında sentezlenen bileşiklere karşı en belirgin inhibisyon yanıtı *S. marcescens* üzerinde gözlenmiştir. 3i bileşiği 10 mm ile en yüksek inhibisyon zonunu oluştururken, 3b 9 mm, 3e ve 3g bileşikleri 8 mm inhibisyon zonu oluşturmuştur.

6. *Candida albicans*

Sentezlenen bileşiklerin hiçbirinde *C. albicans* üzerinde 3e, 3f, 3i bileşikleri 8 mm bir inhibisyon zonu oluştururken diğer bileşiklerde bir zon çapı görülmemiştir.

SONUÇ

Sonuç olarak Sentezlenen bileşikler, mikroorganizmalara bağlı değişken antibakteriyel aktivite sergilemiştir. En yüksek aktivite 3i bileşiğinde, *S. marcescens*'e karşı 10 mm inhibisyon zonu ile belirlenmiştir. 3e bileşiği ise farklı Gram-pozitif ve Gram-negatif bakterilere karşı daha geniş bir aktivite profili göstermiştir. Buna karşın bileşiklerin sadece 3e, 3f, 3i bileşikleri *C. albicans* üzerindeki antifungal aktiviteleri gözlenmemiştir. Elde edilen bulgular, incelenen bileşiklerin antimikrobiyal potansiyel taşıdığını göstermekte olup, bu çalışmanın farklı mikroorganizmalar üzerinde yürütülecek ileri araştırmalara ve yeni biyolojik aktif bileşiklerin

geliştirilmesine örnek teşkil edebileceği düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

Ahmad, I., Mehmood, Z. and Mohammad, F. (1998). Screening of Some Indian Medicinal Plants for Their Ethnopharmacology, 62(2), 183-193.

Aytemiz, F. (2020). 4,5-Dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on Halkası İçeren Bazı Yeni Heterosiklik Mannich Bazlarının Sentezi, Karakterizasyonu ve Bazı Özelliklerinin İncelenmesi. Doktara Tezi, Kafkas Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Kars.

Bankoğlu, B. (2021). 3-Alkil-4-(3-etoksi-4-hidroksi)-benzilidenamino-4,5-dihidro-1*H*-1,2,4-triazol-5-on'lardan Bazı Yeni *N*-Mannich Bazlarının Sentezi ve Bazı Özelliklerinin İncelenmesi. Doktara Tezi, Kafkas Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Kars.

Chohan, Z. H., & Hanif, M. (2013). Antibacterial and antifungal metal based triazole Schiff bases. *Journal of enzyme inhibition and medicinal chemistry*, *28*(5), 944-953.

Chohan, Z. H., & Hanif, M. (2013). Antibacterial and antifungal metal based triazole Schiff bases. *Journal of enzyme inhibition and medicinal chemistry*, *28*(5), 944-953.

Coordination, G., World Health Organization, & World Health Organization. (2022). *WHO fungal priority pathogens list to guide research, development and public health action*. Organización Mundial de la Salud (OMS).

Ergüden, B., & Ünver, Y. (2026). 1, 2, 4-triazole-3-one Schiff bases disrupt cell membrane integrity of both Gram-positive and-negative bacteria. *Archives of Microbiology*, *208*(3), 133.

Gupta, O., Pradhan, T., & Chawla, G. (2023). An updated review on diverse range of biological activities of 1, 2, 4-triazole derivatives: Insight into structure activity relationship. *Journal of Molecular Structure*, *1274*, 134487.

Gürsoy Kol, Ö., Yuksek, H., & İSLAMOĞLU, F. (2012). In vitro Antioxidant and Acidic Properties of Novel 4-(5-Methyl-2-thienyhnethyleneamino)-4, 5-dihydro-1H-1, 2, 4-triazol-5-one Derivatives. Synthesis and Characterization. *Revista De Chimie*, (11).http://derpharmachemica.com/archive.html

Hejazi, A., & Falkiner, F. R. (1997). *Serratia marcescens*. Journal of Medical Microbiology, 46(11), 903–912.

http://www.wikipedia.org/wiki/Bacillus_subtilis (8.2024).

https://docplayer.biz.tr/97638927-Enterobacteriaceae-familyasinin-ortak-ozellikleri.html.

Jorge, J., Del Pino Santos, K. F., Timóteo, F., Piva Vasconcelos, R. R., Ignacio Ayala Cáceres, O., Juliane Arantes Granja, I., ... & Rafique, J. (2024). Recent advances on the antimicrobial activities of Schiff bases and their metal complexes: An updated overview. *Current Medicinal Chemistry*, *31*(17), 2330-2344.

Jorge, J., Del Pino Santos, K. F., Timóteo, F., Piva Vasconcelos, R. R., Ignacio Ayala Cáceres, O., Juliane Arantes Granja, I., ... & Rafique, J. (2024). Recent advances on the antimicrobial activities of Schiff bases and their metal complexes: An updated overview. *Current Medicinal Chemistry*, *31*(17), 2330-2344.

Jorge, J., Del Pino Santos, K. F., Timóteo, F., Piva Vasconcelos, R. R., Ignacio Ayala Cáceres, O., Juliane Arantes Granja, I., ... & Rafique, J. (2024). Recent advances on the antimicrobial activities of Schiff bases and their metal complexes: An updated overview. *Current Medicinal Chemistry*, *31*(17), 2330-2344.

Kajal, A., Bala, S., Kamboj, S., Sharma, N., & Saini, V. (2013). Schiff bases: a versatile pharmacophore. *Journal of Catalysts*, *2013*(1), 893512.

Kajal, A., Bala, S., Kamboj, S., Sharma, N., & Saini, V. (2013). Schiff bases: a versatile pharmacophore. *Journal of Catalysts*, *2013*(1), 893512.

Kaur, R., Ranjan Dwivedi, A., Kumar, B., & Kumar, V. (2016). Recent developments on 1, 2, 4-triazole nucleus in anticancer compounds: a review. *Anti-Cancer Agents in Medicinal*

Chemistry (Formerly Current Medicinal Chemistry-Anti-Cancer Agents), *16*(4), 465-489.
Lu, L., Li, Z., Shan, C., Ma, S., Nie, W., Wang, H., Chen, G., Li, S. and Shu, C. (2021). Whole Transcriptome Analysis of Schinifoline treatment in Caenorhabditis Elegans Infected with Candida albicans. Molecular Immunology, 135, 312-319.
Mahlen, S. D. (2011). Serratia infections: From military experiments to current practice. *Clinical Microbiology Reviews*, *24*(4), 755–791. https://doi.org/10.1128/CMR.00017-11
Marston, H. D., Dixon, D. M., Knisely, J. M., Palmore, T. N., & Fauci, A. S. (2016). Antimicrobial resistance. *Jama*, *316*(11), 1193-1204.
Oztay, F., Ergin, B., Ustunova, S., Balci, H., Kapucu, A., Caner, M. and Demirci, C. (2007). Effects of Coenzyme Q10 on the Heart Ultrastructure and Nitric Oxide Ssynthase During Hyperthyroidism. Chinese Journal of Physiology, 50(5), 217.
Perez, C., Pauli, M. and Bazerque, P. (1990). An Antibiotic Assay by the Well Agar Method. Acta Biologiae et Medicinae Experimentalis, 15, 113-115.
Ranjbar, R Alam. M, Antimicrobial Resistance Collaborators. (2022). Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: a systematic analysis. *Lancet (London, England)*, *399*(10325), 629.
Singh, R., Prakash, M., Dubey, R., Roy, K., Kotwal, A., & Mahen, A. (2013). Body composition parameters as correlates of coronary artery disease. *Indian Journal of Medical Research*, *138*(6), 1016-1019.
Ulufer Bulut, S. (2022). Potansiyel Biyolojik Aktif Bazı N-(3-Alkil/Aril-4,5-dihidro-1H-1,2,4-triazol-5-on-4-il)-amid Türevlerinin Sentezi, Karakterizasyonu ve Bazı Özelliklerinin İncelenmesi. Doktora Tezi, Kafkas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kars.
World Health Organization. *WHO Outlines 40 Research Priorities on Antimicrobial Resistance. 2023*.
Zafar, W., Sumrra, S. H., & Chohan, Z. H. (2021). A review: Pharmacological aspects of metal based 1, 2, 4-triazole derived Schiff bases. *European journal of medicinal chemistry*, *222*, 113602.
Zhao, W., Wang, X., Zhao, C. and Yan, Z. (2021). Immunomodulatory Mechanism of Bacillus subtilis R0179 in RAW 264.7 Cells Against Candida albicans Challenge. Microbial Pathogenesis, 157, 104988.

BELİREN YETİŞKİNLİKTE ALGILANAN EBEVEYNLİK STİLİ İLE ROMANTİK PARTNERE YÖNELİK KISKANÇLIK İLİŞKİSİNDE KİŞİLERARASI BAĞIMLILIĞIN ARACI ROLÜ

Psk. Elif Kübra ÖZER
Dokuz Eylul University, Department of Psychology, İzmir
ORCID ID: 0009-0001-5986-0967
Dr. Öğr. Üyesi Elçin YORULMAZ
Dokuz Eylul University, Department of Psychology, İzmir
ORCID ID: 0000-0001-8353-0952

ÖZET
İnsanın var oluşundan itibaren diğerleri ile kurduğu etkileşimler ilişkileri de beraberinde getirmiştir. Bu etkileşimlerden birisi olan kişilerarası bağımlılık; ebeveynlik stillerinde önemli bir rol oynamakta ve ileri dönemde kişinin kurduğu ilişkileri ve bağları etkileyebilmektedir. Beliren yetişkinlik döneminde bireyler çeşitli değişim ve gelişim süreçlerinden geçerler. Bu dönemde romantik ilişkilerde yaşanan kıskançlık duygusu kaçınılmaz olabilmekte, yoğun yaşandığında ise psikolojik şiddet başta olmak üzere çeşitli şiddet davranışlarına sebep olabilmektedir. Bu araştırma kapsamında bireylerin algıladıkları ebeveynlik stili ile romantik partnere yönelik kıskançlık ilişkisinde kişilerarası bağımlılığın aracı rolünün incelenmesi amaçlanmıştır. Araştırmaya yaşları 18-25 arasında değişen 133 kadın ve 59 erkek olmak üzere toplam 192 kişi dahil edilmiştir. Katılımcılardan Demografik Bilgi Formu, Kişilerarası Bağımlılık Ölçeği, Çocuk Yetiştirme Tutumları Ölçeği (kabul/ilgi, sıkı denetim/kontrol) ve Çok Boyutlu Kıskançlık Ölçeği'nden oluşan ölçek seti ile veriler toplanmıştır. Veriler; tanımlayıcı istatistikler, Pearson korelasyonu, ANOVA, regresyon, aracılık modeli testi ve t-testi ile analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda romantik kıskançlığın baba denetimi ile pozitif, kişilerarası bağımlılık ile negatif ilişkili olduğu; kişilerarası bağımlılığın ise anne- baba denetimi ile negatif ilişkili olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca bulgular kişilerarası bağımlılığın romantik kıskançlığın anlamlı bir yordayıcısı olduğunu göstermiştir. Kişilerarası bağımlılığın anne denetimi ve baba kabulü ile romantik partnere yönelik kıskançlık ilişkilerinde tam aracılık, baba denetimi ile romantik partnere yönelik kıskançlık ilişkisinde kısmi aracılık üstlendiği; anne kabulü ile romantik partnere yönelik kıskançlık ilişkisinde herhangi bir aracılık rolü üstlenmediği bulunmuştur. Yakın ilişkiler hayatımızın her anında olmakla birlikte ruh ve fiziksel sağlığımızı da etkilemektedir. Bu sebeple algılanan ebeveynlik ve romantik ilişkilerde kıskançlık düzeyi arasındaki ilişkide kişilerarası bağımlılığın aracılık rolünün belirlenmesinin bireylerin daha sağlıklı ilişkiler kurmasına katkı sağlayabileceği düşünülmektedir.
Anahtar Kelimeler: Ebeveynlik Stilleri, Kişilerarası Bağımlılık, Romantik İlişkilerde Kıskançlık

THE MEDIATING ROLE OF INTERPERSONAL DEPENDENCY IN THE RELATIONSHIP BETWEEN PERCEIVED PARENTING STYLE AND JEALOUSY TOWARD A ROMANTIC PARTNER IN EMERGING ADULTHOOD

ABSTRACT
Since the dawn of humanity, interactions with others have inevitably led to the formation of relationships. Interpersonal dependency—one such form of interaction—plays a significant role in parenting styles and can influence the relationships and bonds an individual forms later in life. During the period of emerging adulthood, individuals undergo various processes of change

and development. Feelings of jealousy in romantic relationships can be inevitable during this stage; when experienced intensely, they may lead to various forms of violence, particularly psychological abuse. This study aimed to examine the mediating role of interpersonal dependency in the relationship between perceived parenting styles and jealousy toward a romantic partner. A total of 192 individuals—133 women and 59 men aged 18 to 25—participated in the study. Data were collected using a set of instruments comprising the Demographic Information Form, the Interpersonal Dependency Scale, the Child-Rearing Attitudes Scale (acceptance/involvement, strict control/supervision), and the Multidimensional Jealousy Scale. The data were analyzed using descriptive statistics, Pearson correlation, ANOVA, regression analysis, mediation model testing, and t-tests. The analyses revealed that romantic jealousy is positively associated with paternal control and negatively associated with interpersonal dependency, while interpersonal dependency is negatively associated with both maternal and paternal control. Furthermore, the findings indicated that interpersonal dependency is a significant predictor of romantic jealousy. It was found that interpersonal dependency fully mediates the relationship between maternal control and romantic partner jealousy, as well as the relationship between paternal acceptance and romantic partner jealousy; it partially mediates the relationship between paternal control and romantic partner jealousy; and it plays no mediating role in the relationship between maternal acceptance and romantic partner jealousy. Close relationships are present throughout our lives and impact both our mental and physical health. Therefore, it is believed that identifying the mediating role of interpersonal dependency in the relationship between perceived parenting and jealousy in romantic relationships could contribute to individuals establishing healthier relationships.
Keywords: Parenting Styles, Interpersonal Dependency, Jealousy in Romantic Relationships

1. GİRİŞ

Ebeveynlerin çocuklarını yetiştirirken, çocukları üzerine yansıttıkları inanç, davranış ve beklentiler Darling ve Steinberg (1993) tarafından çocuk yetiştirme stilleri olarak adlandırmıştır (Asici ve Sari, 2021). Bireylerin, ebeveynleri ile ilişkilerinde onların davranışlarını ve tutumlarını nasıl algıladıkları ise algılanan ebeveynlik stilleri olarak adlandırılmaktadır. Baumrind (1972), ebeveynlerin çocuğa karşı farklı düzeylerde kontrolünü içeren otoriter (authoritarian), açıklayıcı/otoriter (authoritative) ve izin verici (permissive) olmak üzere üç temel çocuk yetiştirme stili tanımlamıştır (Sümer ve Güngör, 1999). Maccoby ve Martin (1983) ise Baumrind'in sınıflandırmasını değerlendirerek, ebeveynlerin çocuklarına karşı daha kabul edici, hoşgörülü, ilgili ve duyarlı olup çocuklarını destekledikleri duyarlılık (responsiveness) boyutu ile daha kontrolcü, sıkı ve disiplinli olduğu talepkarlık (demandingness) boyutunu tanımlamıştır (Sümer ve Güngör, 1999). Yine bu iki boyuttan yola çıkarak yetkili (authoritative), otoriter (authoritarian), izin verici (permissive/indulgent) ve ihmalkâr (uninvolved) olarak dört farklı ebeveynlik stili tanımlanmaktadır. Talepkarlık ve duyarlılık boyutları arasındaki dengeyi iyi sağlayan yetkili ebeveynler disiplin konusunda net ama ılımlı olup kuralları açık ve çocuklar tarafından sorgulanmasına olanak sağlayacak şekilde belirlerken aynı zamanda çocuklarına yüksek düzeyde sevgi ve ilgi ile yaklaşırlar. Otoriter ebeveynlerin çocuklarıyla duygu etkileşimi sınırlı olup, kontrolcü ve katı bir yetiştirme tarzı benimsemektedir. Aksine izin verici ebeveynlikte yüksek düzeyde sevgi ve ilgi söz konusuyken ebeveynler kural koyma konusunda yetersiz, ebeveynlik rolü bakımından geri planda kalmaktadır. İhmalkâr ebeveynlik ise ilginin ve sevginin az veya hiç olmadığı, kontrolün ve disiplinin sağlanmadığı ailelerdir (Baumrind, 1991; Darling, 1999; Steinberg, 2019; Akt: Asici ve Sari, 2021).

Beliren yetişkinlik dönemi, bireylerin ergenlikten genç yetişkinliğe geçerken deneyimledikleri

bir dizi gelişimsel aşama olup 18 yaşından itibaren başlayarak 25 yaşına kadar devam etmekte bazen ise sınırı 29 yaşına kadar dayanmaktadır (Arnett, 2000). Beliren yetişkinlikte bireyler kademeli olarak bağımsızlıklarını kazandıkları halde henüz yetişkin rollerini tam olarak deneyimleyemedikleri için bir "ara" olarak değerlendirilmektedir (Jiao vd, 2024). Bağımsız olmaya ve yetişkin rollerine bir geçiş aşaması olmakla birlikte bireyler değişen sosyal ve kimliksel değişikliklere adapte olmaya çalıştıklarından psikolojik iyi oluş açısından önemli riskler taşımaktadır (Arnett vd., 2014; Akt: Yaprak ve Yalın, 2026). Bu dönemde romantik ilişkiler bireyin çeşitli gelişimleriyle ilişkili olup büyük önem taşımaktadır, bireyler aşkı ergenlikte yaşadıklarından daha yoğun ve ciddi şekillerde keşfederler (Arnett, 2000).

Bebeklikte anneye yönelik bağımlılıkla başlayan kişilerarası ilişkiler bireyin sonraki dönem kişilerarası ilişkilerine de yansımaktadır (Ainsworth, 1969; Hirschfeld vd, 1977; Akt: Yılmaz, 2024). Kişilerarası ilişkiler doğduğumuz andan itibaren kurulmakta ve büyük önem arz etmektedir. Hirrschfels ve ark. (1976) kişilerarası bağımlılığın birtakım insanlarla, özellikle değer verdiğimiz kişilerle kurduğumuz iletişimde yakınlık, güven, etkileşimde olma gibi ihtiyaçlarımızla ortaya çıkan kompleks düşünce, duygu ve inançlar olarak tanımlamışlardır. Kişilerarası bağımlılıkla ilgili diğer tanımlar doğrultusunda Bornstein (1993) bağımlılığı motivasyonel, bilişsel, duygusal ve davranışsal olmak üzere 4 temel yapılı bir kişilik stili olarak tanımlamıştır. Yetişkinlikte algılanan ebeveynlik biçimlerinin (Safran ve Segal 1996) kişilerarası ilişkilerdeki sorunlarla ilişkili olduğu da birçok araştırmacı tarafından vurgulanmaktadır (Bowlby 1969, Boyce ve Parker 1989, Frank vd., 1997; Akt: Başbuğ vd., 2017). Çocukların yetiştirilirken ailenin sahip olduğu çocuk yetiştirme tarzı da kişilerarası bağımlılığın gelişmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Ebeveyn kontrolü çocuk yetiştirmede önemli bir yerde yer almakta olup ebeveyn denetim/kontrolü anne babanın çocukları üzerinde kurdukları denetim ve sınırlamaların derecesini yansıtmaktadır (Sümer ve Güngör, 1999). Ebeveyn denetim/kontrolünün yüksek olması ebeveynlerin daha otoriter bir ebeveynlik stili benimsemeleri ile kategorize olup otoriter ebeveynlik; ebeveynlerin koymuş oldukları kurallara, yüksek standartlara sorgulamadan koşulsuz saygı ve itaat ile düşük sıcaklık/sevgi göstererek bunları çocuklardan talep etmeleridir (Sümer ve Güngör, 1999). Ebeveynlerin çocuk üzerinde müdahaleci ve baskıcı bir tutum sergileyerek cezayla tehdit etmesi, çocukta suçluluk duygusu oluşturarak zorlayıcı bir ebeveynlik tarzını benimsemeleri ise kontrolcü ebeveynlik olarak tanımlanmaktadır (Van Petegem vd., 2015). Bornstein (1992) bağımlılığın, aşırı koruyucu, otoriter ebeveynlikten kaynaklandığını söylemiştir. Baumrind' e (1973) göre ise ailenin çocuk yetiştirirken tutum ve davranışları bireyin bağımlılık düzeyini yordamakta, bağımlı kişilik geliştirmelerinde etkin rol oynamaktadır. Sevgi ve kabulü daha çok, kontrolünse daha düşük gösterildiği ailelerde gençler kurdukları ilişkilerde daha olumlu olacak, başkalarının onayına ve desteğine daha az ihtiyaç duyacak, memnun etme kaygısını daha az yaşayacaklardır (Sümer ve Güngör, 1999). Aksi durumda birey karşısındaki insanın onayına ve desteğine daha çok ihtiyaç duyacak ve onu memnun etmek için daha fazla çaba harcayacaktır. Bornstein (1992) bireyin yetiştiği aile tutumuna paralel şekilde yaşantısında da benzer ilişkiler kurmakta ve sürdürmekte olduğunu ifade etmektedir (Ulusoy ve Durmuş, 2011). Aşırı koruyucu ve otoriter ebeveynler çocuğun bağımsızlık duygularının gelişimini ve özerk davranışlarını direkt veya dolaylı yoldan engelleyerek bağımlı davranışlarını pekiştirmesine ve ileri dönemlerde de benzer ilişkiler sürdürmesine neden olmaktadır (Ulusoy ve Durmuş, 2011). Zivkovic (2022)'e göre, çocuğun erken dönemde aşırı korumacı, otoriter, cezalandırıcı ve kontrolcü bakım verenlere sahip olması bağımlılıkla ilişkilendirilebilir ve bireyin yetişkin hayatında kendisini zayıf ve yetersiz algılamasına, karar verirken sürekli karşı tarafın fikrine ve söylemlerine bağlı kalarak kontrol edilmeyi aramasına neden olabilmektedir. Ayrıca Ansbacher ve Ansbacher (1964), Dreikurs (1953) ve Adler (1958)' in çocukların doğum sıralarının etkileri konusunda

yaptıklarını araştırma ve açıklamalarına dayanarak en büyük ve tek çocuklar bağımlı davranış sergilemeye daha meyilli olduklarını belirtmişlerdir (Ulusoy, 2010).

Çoğunlukla bağımlılık denilince akla madde, nesne, temelli şeyler gelmekle birlikte; bağımlılık nesnesinin farklılaşmasıyla bağımlılık farklı türlere ayrılmaktadır. Davranış tabanlı bozukluklardan biri sayılabilen (Olave vd., 2024) ve insanlarla ilişkilerde ortaya çıkan kişilerarası bağımlılık da bağımlılığın bir çeşidini oluşturmaktadır (Ulusoy, 2010). Kişilerarası bağımlılık bireylerin çoğunlukla çevreleri tarafından desteklenme ve onaylanma ihtiyacı duydukları, tavsiye bekledikleri bir kişilik tarzıdır (Natoli vd., 2021). Bu kişiler ilişkilerinde daha uyumlu, partnerlerinin taleplerine karşı daha ılımlı ve kabullenici olmaktadırlar (Natoli vd., 2021). Kişilerarası bağımlılık yaşayan bireyler, bir başkasına duygusal ve zihinsel olarak aşırı derecede bağlanır ve çoğunlukla ilişki içerisinde bulunduğu partnerinden, onay almaya, desteklenmeye ve yönlendirilmeye ihtiyaç duymaktadır. Aralarında gelişen ilişkiye bağlı olarak ihtiyacını mantıksız bir şekilde büyütüp, karşısındaki kişiyi hayatının merkezine alarak, sağlıksız bir bağ geliştirebilir. Ancak her zaman beklendiği gibi pasif ve boyun eğici olmak gibi bağımlı davranışlar göstermek yerine otorite figürünü memnun edebilmek amacıyla aktif davranışlar da sergileyebilmektedirler (Anike, 2022). White (1981) kaynağı fark etmeksizin bağımlılık düzeyi arttıkça kıskanma tepkilerinin yoğunluğunun da arttığı belirtmiştir (Karakurt, 2012). Aynı zamanda kişilerarası bağımlılık ve dürtü kontrol sorunlarıyla da ilişkili olan kişilerarası partner şiddeti, bağımlılığın başlangıcı ve devamı için önemli bir risk faktörü olan düşük benlik saygısı ile ilişkilidir (Olave vd., 2024). Pincus ve Wilson (2001) bireylerin mevcut ilişkilerinin bitmesinden endişe duyarak kendilerini olduklarından daha güçsüz, pasif ve alçak gönüllü göstererek bunun önüne geçmeye çalıştıklarını eğer ilişki riske girerse veya ilişkinin biteceğine dair korku duyulursa bunu önlemek için kararlı bir tavır sergileyebileceklerini ve agresif davranabileceklerini belirtmiştir (Ulusoy ve Durmuş, 2011).

Bu çalışmada beliren yetişkinlikteki bireylerde, "Algılanan ebeveynlik kişilerarası bağımlılık ile ilişkili midir? Kişilerarası bağımlılık romantik partnere yönelik kıskançlık ile ilişkili midir? Kişilerarası bağımlılık, bireyin algıladığı ebeveynlik stili ve romantik partnere yönelik kıskançlık ilişkisinde aracı rol oynar mı?" sorularına cevap bulunmaya çalışmıştır. Araştırmada sırasıyla kurulan hipotezler:

H_1: Baskıcı, otoriter (authoritarian) ebeveynlik stilini algılayan bireylerin kişilerarası bağımlılık düzeyleri daha yüksek olacaktır.

H_2: Kişilerarası bağımlılık düzeyi yüksek olan birey romantik ilişkisinde partnerine karşı daha kıskanç bir tutum sergiler.

H_3: Bireyin algıladığı ebeveynlik stillerinin romantik kıskançlık üzerindeki etkisinde kişilerarası bağımlılık aracı rol oynamaktadır.

2. YÖNTEM

2.1. Katılımcılar

Mevcut araştırmaya yaşları 18-25 arasında değişen beliren yetişkinlik çağındaki 192 kişi dahil edilmiştir. Türkiye'de yaşayan Türkçeyi etkin şekilde kullanabilen, romantik ilişki içerisinde bulunan, araştırmaya katılımını engelleyecek psikolojik ve fiziksel rahatsızlığının olmaması dahil edilme kriterleri olarak belirlenmiştir. Katılımcılara sosyal medya araçları ile (Whatsapp, Instagram, TikTok), aktif veri toplama ile (Dokuz Eylül Üniversitesi Edebiyat/ Fen Fakültesi başta olmak üzere Mühendislik, Mimarlık, Hukuk fakültelerine ve Üniversite kütüphanesine gidilerek) ve proje danışmanının vermiş olduğu Psi3053 kodlu "Bağımlılık ve Bağımlılık ile Mücadele" dersi kapsamında bonus puan karşılığında sunularak katılımcılara ulaşılmıştır. Araştırmanın örneklem büyüklüğünün belirlemek için çalışmaya başlamadan önce güç analizi yapılmıştır (GPower 3.1.9.7). Bu analizde etki büyüklüğü olarak orta etki büyüklüğü olan 0,15 alınmıştır (Cohen, 1992). Analizde alfa değeri 0,05 ve güç değeri 0,95 olan çoklu doğrusal

regresyon seçilmiştir. Güç analizi sonucunda katılımcı sayısının 119 olması gerektiği sonucuna varılmıştır. Dolayısıyla elde edilen örneklem büyüklüğü (N=192) yeterli görülmüştür. Araştırmaya katılan 325 katılımcıdan katılmak istemeyen 1 kişi, romantik ilişkisi olmayan 49 kişi, 25 yaş üzeri 39 kişi başta olmak üzere; Veri toplama sürecinde katılımcıların maddeleri dikkatli okuyup okumadıklarını belirlemek amacıyla ölçek bataryasına yerleştirilen bir dikkat kontrol sorusuna yanlış cevap veren 44 kişi verilerin güvenirliğini sağlamak adına analizden çıkarılmış ve 192 katılımcı analize dahil edilmiştir.

Katılımcıların demografik özelliklerine ilişkin dağılımlar Tablo 1 de verilmiştir. Bunlara ek olarak, katılımcıların ailevi arka planlarını belirlemek amacıyla aile bilgileri incelenmiştir. Katılımcıların ebeveyn medeni durumlarına bakıldığında; %81.8'i evli (n = 157), %14.6'sı boşanmış/ayrı yaşayan/eşi vefat etmiş (n = 28), %3.1'i başkalarıyla evli (n = 6) ve %0.5'i bekar (n = 1) olduğu görülmektedir. Katılımcıların annelerinin eğitim düzeyleri incelendiğinde; ilkokul mezunu olanların (n = 49, %25.5) ve lise mezunu olanların (n = 61, %31.8) en yüksek frekansa sahip olduğu görülmektedir. Bu grupları sırasıyla ortaokul mezunları (n = 37, %19.3) ve önlisans/lisans mezunları (n = 35, %18.2) takip etmektedir. Örneklemde annelerin okur-yazar olma oranı %3.1 (n = 6) iken, lisansüstü mezuniyet oranı %2.1 (n = 4) ile en düşük seviyede kalmıştır. Katılımcıların babalarının eğitim durumuna bakıldığında ise lise mezunu olanların (n = 60, %31.3) ve önlisans/lisans mezunu olanların (n = 56, %29.2) örneklemin yarısından fazlasını oluşturduğu saptanmıştır. Diğer eğitim düzeyleri incelendiğinde, ortaokul mezunlarının oranı %18.8 (n = 36), ilkokul mezunlarının oranı ise %14.6 (n = 28) olarak belirlenmiştir. Babalarda lisansüstü mezuniyet oranı %5.2 (n = 10) seviyesindeyken, okur-yazar olduğunu belirten yalnızca 1 katılımcı (%0.5) bulunmaktadır. Katılımcılar yaşamlarının büyük bölümünü %45.8'i büyükşehirde (n = 88), %22.9'u ilçede (n = 44), %22.9'u şehirde (n = 44), %6.3'ü köyde (n = 12), %2.1'i ise kasabada (n = 4) geçirmiş ve %39.6'sı ailesiyle birlikte (n = 76), %33.3'ü yurtta (n = 64), %13.5'i tek başına (n = 26) ve %13.5'i arkadaşıyla birlikte (n = 26) yaşamaktadır.

Tablo 1. Sosyodemografik Bilgiler

Değişkenler	*n*	*%*
Cinsiyet		
Kadın	133	69.3
Erkek	59	30.7
Yaş		
18-19	18	9.4
20-22	114	59.4
23-25	60	31.3
Eğitim Seviyesi		
Ortaokul Mezunu	1	0.5
Lise Mezunu	13	6.8
Lisans/önlisans mezunu	32	16.7
Lisanüstü mezunu		
Eğitim Programına Devam Durumu		
Evet	152	79.2
Hayır	40	20.8
Psikiyatrik Tanı		
Evet	36	18.8
Hayır	155	80.7
Belirtmek İstemiyorum	1	0.5

Medeni Durum		
Bekar	186	96.9
Evli	6	31.1
Romantik İlişki Durumu		
Flört	16	8.3
Sevgili	167	87
Nişanlı	3	1.6
Evli	6	3.1
Romantik İlişki Süresi		
1 yıldan az süredir	66	34.4
1-2 yıl	71	37
3-4 yıl	35	18.2
4 yıldan fazla	20	10.4
Kardeş Sayısı		
Tek çocuk	15	34.4
2	91	37
3-4	80	18.2
5 kardeş ve üzeri	6	10.4
Kardeş sırası		
Tek çocuk	14	7.3
En büyük kardeşim	87	45.3
Ortanca kardeşim	36	18.8
En küçük kardeşim	55	22.6

Not. N=192

2.2. Veri Toplama Araçları

Demografik Bilgi Formu: Katılımcılara yaş, cinsiyet, eğitim durumu, medeni durum, psikolojik tanı durumları, çeşitli ebeveyn bilgileri hakkında sorular sorularak demografik bilgilerinin öğrenilmesi amaçlanmıştır.

Çocuk Yetiştirme Tutumları Ölçeği: Anne ve babadan algılanan ebeveynlik stillerini belirlemek amacıyla Sümer ve Güngör (1999) tarafından geliştirilen Çocuk Yetiştirme Tutumları Ölçeği kullanılmıştır. Kabul/ilgi ve sıkı denetim/kontrol boyutlarını içeren ölçek anne ve baba için ayrı ayrı cevaplanmaktadır. Katılımcıların bu iki boyuttan aldıkları puanlar medyan bölme yöntemi kullanılarak demokratik, otoriter, ihmalkar ve şımartan olmak üzere 4 çocuk yetiştirme stili tanımlanmıştır. Her bir boyut için örneklem medyan değerleri hesaplanarak medyanın üzerinde kalan puanlar yüksek, altında kalan puanlar ise düşük olarak kodlanmıştır. Bu iki boyutun çaprazlanması ile, yüksek kabul-yüksek denetim gösterenler demokratik, düşük kabul-yüksek denetim gösterenler otoriter, yüksek kabul-düşük denetim gösterenler izin verici ve düşük kabul-düşük denetim gösteren katılımcılar da ihmalkar olmak üzere dört ebeveynlik stili grubuna ayrılmıştır. Ölçekte kabul/ilgi boyutu tek sayılarla; sıkı denetim/kontrol boyutu çift sayılarla ifade edilmiştir. 5'li likert tipi derecelendirme içeren ölçek 22 maddeden oluşan bir öz bildirim ölçüsüdür. Boyutların alfa güvenirlik katsayılarına bakıldığında kabul/ilgi boyutlarının alfa değeri .94; anneden algılanan sıkı denetim/kontrol boyutunun alfa değeri .80 iken babadan algılanan sıkı denetim/kontrol boyutunun alfa değeri .70 olmaktadır (Sümer ve Güngör, 1999). Bu araştırmadan elde edilen verilerde ise anne ve baba kabul/ilgi boyutunun toplam puan Cronbach alfa değeri .93; anneden algılanan sıkı denetim/kontrol boyutunun toplam puan alfa değeri .88 bulunurken baba denetim/kontrol boyutunun toplam puan alfa değeri .89 bulunmuştur.

Çok Boyutlu Kıskançlık Ölçeği: Romantik ilişki içerisindeki bireylerin kıskançlık düzeylerini belirlemek amacıyla Pfeiffer ve Wong (1989) tarafından geliştirilen ve Türkçeye uyarlaması Karakurt (2001) tarafından yapılan Çok Boyutlu Kıskançlık Ölçeği kullanılmıştır. Ölçek kıskançlığı çok boyutlu ve farklı açılardan ölçmeyi amaçlayan duygusal, bilişsel ve davranışsal olmak üzere 3 alt boyuttan ve 24 maddeden oluşan 7'li likert tipi bir ölçektir. Curun ve Çapkın (2014) belirtiği gibi ölçekten genel bir kıskançlık skoru elde etmek amacıyla toplam puan üzerinden analiz yapılmıştır. Pfeiffer ve Wong (1989) tarafından yapılan çalışmada ölçeğin duygusal, bilişsel ve davranışsal alt boyutlarının alfa değeri .80 ile .92 aralığında değişmektedir. Karakurt (2001) tarafından Türkçeye uyarlanan ölçeğin alt boyutlarının alfa değerleri ise .80 ile .85 aralığındadır. Genel kıskançlık skorunu belirlemek amacıyla mevcut ölçeğin bu çalışma örneklemi için hesaplanan toplam puan Cronbach alfa iç tutarlılık değeri ise .84 bulunmuştur.
Kişiler Arası Bağımlılık Ölçeği: Kişilerin, birtakım insanlara bağımlılık eğilimlerini belirlemek amacıyla Hirrschfels ve ark. (1976) tarafından geliştirilen Kişiler Arası Bağımlılık Ölçeği'nin Türkçe standardizasyon çalışması Ulusoy (2010) tarafından yapılmıştır. 18 maddelik duygusal güven, 16 maddelik sosyal öz güven eksikliği ve 14 maddelik otonomi olmak üzere 3 alt boyuttan oluşmaktadır. 48 maddeden oluşan ölçeğin Türkçe formunda 4 maddesi atılmıştır. 4'lü derecelendirme içeren ölçekte bağımsızlığı içeren maddeler (10, 23, 44) ters kodlanmıştır. Kişiler Arası Bağımlılık Ölçeğinin alt ölçeklerinin alfa iç tutarlık değeri sosyal özgüven eksikliği için .72, otonomi için .76 ve duygusal güven alt ölçeği için .79 iken toplam puan iç tutarlık Cronbach alfa katsayısı .75'dir. Bu çalışma kapsamında elde edilen verilerin iç tutarlılığını belirlemek üzere yapılan güvenirlik analizinde ise ölçeğin genel iç tutarlık katsayısı .85 olarak hesaplanmıştır.

2.3. Prosedür

Çalışmanın yürütülebilmesi için Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal ve Beşeri Bilimler Bilimsel Araştırma ve Yayın Etik Kurulu'ndan gerekli etik izin alınmıştır (29/05/2025 tarihli ve –17 karar numaralı belge). Veri toplama süreci Ağustos 2025 ile Şubat 2026 arasında gerçekleşmiş olup katılımcı sayısının artma ihtimaline bağlı olarak Mart 2026 tarihinde de açık tutulmuştur. Katılımcılara çevrim içi bir şekilde sosyal medya uygulamalarından ve Dokuz Eylül Üniversitesi'nin çeşitli fakültelerinden ulaşılmıştır. Katılmayı kabul edenlere öncelikle Bilgilendirilmiş Onam Formu sunularak katılımcıların onayları alınmıştır. Katılımcılar onam formlarını okuyarak, katılmayı kabul ettikten sonra kendilerinden tamamlamaları yaklaşık 15-20 dakika süren ölçüm araçlarını Google Forms aracılığıyla çevrimiçi bir şekilde doldurmaları beklenmiştir. Araştırma sonlandıktan sonra Mart 2026 sonunda araştırmaya dahil olup çekilişe katılmak isteyen katılımcılar içerisinden rastgele çekiliş yapılmıştır. Araştırmaya katılan 325 katılımcıdan 12 kişiye AmazonCard hediye kartı tanımlanmıştır.

2.4. İstatistiksel Analizler

Veriler analiz edilmeden önce veri seti analize hazır hale getirilmiştir. Araştırmadan elde edilen verilerin istatiksel analizleri SPSS 29.0 paket programı aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Google Forms aracılığıyla 325 katılımcıdan toplanan veriler analiz öncesinde hatalı veya eksik veri girişi olup olmadığını tespit etmek amacıyla kontrol edilmiştir. Katılım koşullarını sağlamayan kişiler çıkarılmış ve analizlere 192 katılımcı dahil edilmiştir. Verilerin normal dağılım sergileyip sergilemediğini incelenmek üzere Kolmogorov–Smirnov testi ve Shapiro–Wilk testi ile çarpıklık ve basıklık değerleri incelenmiştir ($p > .05$). Uç ve kayıp değerler incelenmiş ve uç bir değer saptanmamıştır. Elde edilen veri setinin dağılım özellikleri incelendiğinde normal dağılım gösterdiği anlaşılmış ve parametrik testlerin kullanılmasına karar verilmiştir. Verilerin dağılımı incelemek amacıyla mevcut değişkenlere betimleyici istatistikler yapılmıştır. Ayrıca kullanılan ölçeklerin toplam puanlarının iç tutarlık katsayılarını belirlemek amacıyla Cronbach Alpha güvenirlik analizleri yapılmıştır ($r = .84 - .93$). Araştırmanın devamındaki hipotez

testlerinde değişkenler arasındaki ilişkileri belirlemek amacıyla Pearson Korelasyon Analizi kullanılmıştır. İkiden fazla grubu olan değişkenlerin karşılaştırılmasında Tek Yönlü Varyans Analizi (ANOVA) kullanılmıştır. Yordama bulgularını elde edebilmek için ise Doğrusal Çoklu Regresyon Analizi ve Aşamalı Regresyon Analizi yapılmıştır. Aracılık etkisini test edebilmek için ise Process Macro for SPSS (Hayes, 2022) eklentisinin Model 4 şablonundan faydalanılmıştır. Ek analizler için ise iki gruplu demografik değişkenlerin (cinsiyet, medeni durum vb.) puan farklarını incelemek için Bağımsız Örneklemler t-Testi kullanılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Bulgular

Mevcut araştırmanın değişkenlerine dair betimsel analizlerine, normallik değerlerine ve iç tutarlık değerlerine bakılmış ve Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Betimleyici İstatistikler ve Normallik Analizi

Değişkenler	*M (SD)*	Min-Maks.	Medyan	*Çarpıklık*	*Basıklık*	*Cronbach's Alpha (α)*
KAB	39.92 (13.03)	7-73	38.50	.11	-.15	.85
CBK	79.60 (11.34)	52-137	78	.86	.72	.84
CYT Anne Kabul	38.79 (9.79)	15-55	39	-.42	-.47	.93
CYT Anne Denetim	30.09 (9.03)	12-55	28	.60	-.20	.88
CYT Baba Kabul	33.07 (10.95)	11-55	33.50	-.16	-.87	.93
CYT Baba Denetim	28.70 (10.14)	11-55	27	.52	-.46	.89

Not. KAB= Kişiler Arası Bağımlılık Ölçeği, CBK= Çok Boyutlu Kıskançlık Ölçeği, CYT= Çocuk Yetiştirme Tutumları Ölçeği

Çocuk Yetiştirme Tutumları'nın anne-baba için kabul/ilgi ve denetim/kontrol boyutları, Çok Boyutlu Kıskançlık ve Kişilerarası Bağımlılık ölçeklerinin normal dağılım sergileyip sergilemediğini incelenmek üzere Kolmogorov–Smirnov testi ve Shapiro–Wilk testi ile çarpıklık ve basıklık değerleri incelenmiştir. Yapılan analiz sonucunda tüm değişkenlere ait çarpıklık değerlerinin ±1.5 sınırları içerisinde kaldığı ve verilerin normal dağılım sergilediği ($p > .05$) görülmüştür. Ayrıca, ölçeklerin toplam puanlarının güvenirlik katsayılarının (α) .84 ile .93 arasında değiştiği ve kabul edilebilir düzeyde olduğu saptanmıştır. Araştırmanın devamındaki hipotez testlerinde Pearson korelasyon katsayısının kullanılmasına karar verilmiştir.

Mevcut araştırmanın birinci sorusu "Algılanan ebeveynlik kişilerarası bağımlılık ile ilişkili midir?" olup, ikinci sorusu Kişilerarası bağımlılık romantik partnere yönelik kıskançlık ile ilişkili midir?" şeklindedir. Bu amaçla değişkenler arasındaki ilişkileri incelemek için Pearson Momentler Çarpımı Korelasyon analizi yapılmıştır (Bkz. Tablo 3). Elde edilen bulgular incelendiğinde kişilerarası bağımlılık ile anneden algılanan sıkı denetim/kontrol boyutu ($r = -.23$, $p < .01$) ve babadan algılanan sıkı denetim/kontrol boyutu ($r = -.27$, $p < .01$) arasında negatif ve düşük düzeyde anlamlı ilişki bulunmuştur. Buna karşılık anneden algılanan kabul/ilgi boyutu ile kişiler arası bağımlılık arasında anlamlı bir ilişki saptanmamış; babadan algılanan kabul/ilgi boyutu ise pozitif yönde ve düşük düzeyde anlamlı çıkmıştır. Kişiler arası bağımlılık ile kıskançlık arasındaki korelasyonlar incelendiğinde ise negatif ve orta düzeyde anlamlı bir ilişki

gözlenmiştir, r =-.33, p <.01. Ayrıca kıskançlık ile babadan algılanan denetim/kontrol alt boyutu arasındaki korelasyon incelendiğinde pozitif ve düşük düzeyde anlamlı bir ilişki saptanırken (r =.24, p <.01) kıskançlığın diğer çocuk yetiştirme tutumu alt boyutları ile arasında anlamlı bir ilişki saptanmamıştır.

Tablo 3. Araştırma Değişkenleri Korelasyon Analizi

	M	*SD*	1.	2.	3.	4.	5.	6.
1.KAB	39.92	13.03	-					
2.CBK	79.60	11.34	-.33**	-				
3.CYT Anne Kabul	38.79	9.79	.13	-.03	-			
4.CYT Anne Denetim	30.09	9.03	-.23**	-.09	-.53**	-		
5.CYT Baba Kabul	33.07	10.95	.16*	-.08	.47**	-.30**	-	
6.CYT Baba Denetim	28.70	10.14	-.27**	.24**	-.10	.30**	-.27**	-

Not. KAB= Kişilerarası Bağımlılık Ölçeği, CBK= Çok Boyutlu Kıskançlık Ölçeği, CYT= Çocuk Yetiştirme Tutumları Ölçeği, N = 192, **p<.01, *p<.05

Katılımcıların algıladıkları çocuk yetiştirme stilini tespit edebilmek amacıyla iki temel boyuttan (kabul/ilgi ve sıkı denetim/kontrol) aldıkları puanlar üzerinden medyan bölme yöntemi kullanılarak demokratik, otoriter, ihmalkâr ve şımartan olmak üzere 4 çocuk yetiştirme stili tanımlanmıştır (Sümer ve Güngör, 1999). Anneden algılanan kabul/ilgi boyutunun medyan değeri 39 iken babadan algılanan 33.50' dir. Anneden algılanan sıkı denetim/kontrol medyan değer 28 iken babadan algılanan 27'dir. Hesaplanan medyan değerinin üzerinde kalan puanlar yüksek, altında kalan puanlar ise düşük olarak kodlanmıştır. Bu iki boyutun çaprazlanması ile, yüksek kabul-yüksek denetim gösterenler demokratik, düşük kabul-yüksek denetim gösterenler otoriter, yüksek kabul-düşük denetim gösterenler izin verici ve düşük kabul-düşük denetim gösteren katılımcılar da ihmalkâr olmak üzere dört ebeveynlik stili grubuna ayrılmıştır (Bkz. Tablo 4).

Tablo 4. Katılımcıların Çocuk Yetiştirme Stilleri İçerisinde Sınıflandırılması

	Demokratik	Otoriter	İzin Verici	İhmalkâr
Anne	43	64	64	21
Baba	39	54	57	42

Not. N = 192

Hipotez 1'i test etmek amacıyla Algılanan ebeveynlik stillerinin bireylerin kişilerarası bağımlılık düzeyleri üzerinde anlamlı bir fark yaratıp yaratmadığını test etmek için Tek Yönlü ANOVA yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda, kişilerarası bağımlılık ile anneden algılanan ebeveynlik stilleri arasındaki farkın istatistiksel olarak anlamlı olmadığı (F (3, 188) = 1.231, p =.300) saptanmıştır. Babadan algılanan ebeveynlik stillerinin ise kişilerarası bağımlılık düzeyleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark yarattığı saptanmıştır (F (3, 188) = 4,571; p = .004). Grupların ortalama puanları incelendiğinde, en yüksek bağımlılık düzeyine izin verici stili algılayan bireylerin (M = 44.23) sahip olduğu görülürken; bunu sırasıyla ihmalkâr (M = 41.17), otoriter (M = 37.69) ve demokratik (M = 35.36) stiller takip etmektedir. Babadan algılanan ebeveynlik stilleri bağımlılık üzerinde anlamlı bir belirleyici olmakla birlikte, "Baskıcı, otoriter (authoritarian) ebeveynlik stilini algılayan bireylerin kişilerarası bağımlılık düzeyleri daha yüksek olacaktır." yönündeki Hipotez 1 desteklenmemiştir (Bkz. Tablo 5).

Tablo 5. Algılanan Anne ve Baba Ebeveynlik Stillerine Göre Kişilerarası Bağımlılık Puanlarına İlişkin ANOVA Sonuçları

	N	*M*	*SD*	*F*	*p*	η^2
Anne Stili				1.23	.300	.02
Demokratik	43	39.12	11.99			
Otoriter	64	37.86	13.73			
İzin Verici	64	41.95	12.43			
İhmalkar	21	41.62	14.41			
Baba Stili				4.57	.004*	.07
Demokratik	39	35.36	12.57			
Otoriter	54	37.69	14.42			
İzin Verici	57	44.23	11.62			
İhmalkar	42	41.17	11.69			

Not. N = Örneklem sayısı M = Ortalama SD = Standart Sapma, * p <.05

Araştırmanın birinci hipotezi bağlamında, Model 1' de anne-baba sıkı denetim/kontrol boyutu ile anne- baba kabul/ilgi boyutu bağımsız değişken; kişiler arası bağımlılık ise bağımlı değişken seçilerek kişilerarası bağımlılığı yordayan faktörleri incelemek amacıyla çoklu doğrusal regresyon analizi (Enter Yöntemi) yapılmıştır (Bkz. Tablo 6). Yapılan çoklu doğrusal regresyon analizine göre kişilerarası bağımlılık varyansının %10'u (R^2 =.102) ebeveynlik boyutları tarafından açıklanmaktadır ve istatistiksel olarak anlamlıdır (F (4,187) = 5.29, p <.001). Modele dahil edilen yordayıcılar tek tek incelendiğinde; algılanan baba denetim/kontrol değişkeni (β =-.22, t =-2.87, p = .005) kişilerarası bağımlılık düzeyinin anlamlı bir yordayıcısı olduğu; buna karşın anne denetim/kontrol, anne kabul/ilgi ve baba kabul/ilgi düzeylerinin doğrudan anlamlı birer yordayıcısı olmadığı saptanmıştır (Bkz. Tablo 6).

Tablo 6. Kişilerarası Bağımlılığı Yordayan Ebeveynlik Boyutları İçin Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi

Yordanan Değişken	Yordayıcı Değişken	R^2	*F*	*β*	*t*
Kişilerarası Bağımlılık Model 1		.102	5.29***		
	Anne Denetim			-.14	-1.65
	Anne Kabul			.00	.01
	Baba Denetim			-.22	-.2.87**
	Baba Kabul			.06	.76

Not. *p<.05, **p <.01, ***p <.001

Araştırmanın ikinci hipotezini test etmek amacıyla, Katılımcıların romantik partnerlerine yönelik kıskançlık düzeylerini yordamak, kişilerarası bağımlılık ve baba denetimi algısının rolünü belirlemek amacıyla Aşamalı Çoklu Doğrusal Regresyon Analizi uygulanmıştır (Bkz. Tablo 7). Algılanan baba kontrol/denetimi ile kişiler arası bağımlılık bağımsız değişken; kıskançlık bağımlı değişken seçilmiştir. Baba denetim/kabulü ile kıskançlık arasında pozitif ve düşük düzeyde anlamlı bir ilişki (r = .24, p <.01) saptandığından kişilerarası bağımlılıkla analize dahil edilmiştir. Analizin ilk adımında, modele ilk yordayıcı olarak giren kişilerarası bağımlılık değişkeninin kıskançlığı istatistiksel açıdan anlamlı düzeyde yordamaktadır F(1, 190) = 23.988,

p <.001. Bu ilk model, kıskançlığa ait toplam varyansın %11'ini açıklamakta olup kişilerarası bağımlılık değişkeninin kıskançlığı negatif yönlü anlamlı bir şekilde yordadığı görülmüştür (β =-.45, *t* =-4.90, p <.001). Analizin ikinci adımında modele baba denetimi değişkeni dahil edilmiştir. Baba denetiminin modele eklenmesiyle açıklanan varyanstaki %3'lük artış istatistiksel olarak anlamlıdır, R^2 = .023, p =.028. Yapılan analize göre, kıskançlığı en iyi açıklayan modelin ikinci aşama olduğu anlaşılmaktadır. Bu aşamada kıskançlık varyansının %14'ü kişiler arası bağımlılık ve baba denetimi tarafından açıklanmaktadır ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Ancak analiz sonuçlarına göre, kişilerarası bağımlılık ile romantik partner kıskançlığı arasında negatif yönlü anlamlı bir ilişki saptanmıştır (β =-.39, t =-4.15, p <.001). Bu bulgu doğrultusunda, araştırmanın "Kişilerarası bağımlılık düzeyi yüksek olan bireyler romantik ilişkilerinde partnerlerine karşı daha kıskanç bir tutum sergiler" biçiminde kurulan hipotez 2 desteklenmemiştir.

Tablo 7. Romantik Partner Kıskançlığını Yordayan Değişkenler İçin Aşamalı Regresyon Analizi

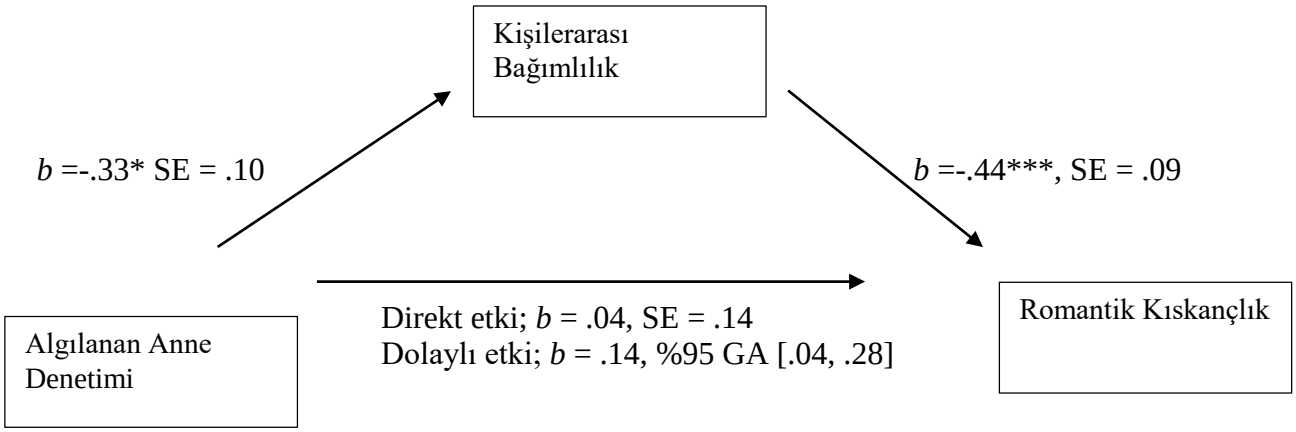
Yordanan Değişken	Yordayıcı Değişken	R^2	*F*	*β*	*t*
Kıskançlık Aşama 1		.11	23.99***		
	Kişilerarası Bağımlılık			-.45	-4.90***
Aşama 2		.14	14.70***		
	Kişilerarası Bağımlılık			-.39	-4.15***
	Baba Denetimi			.27	2.22*

Not. *p<.05, **p<.01, ***p <.001

Mevcut araştırmanın üçüncü sorusu "Kişilerarası bağımlılık, bireyin algıladığı ebeveynlik stili ve romantik partnere yönelik kıskançlık ilişkisinde aracı rol oynar mı?" şeklindedir. Bu amaçla algılanan ebeveynlik stilleri (anne denetimi, anne kabulü, baba denetimi ve baba kabulü) ile romantik kıskançlık arasındaki ilişkide kişilerarası bağımlılığın aracı rolünü test etmek amacıyla Hayes (2022) PROCESS makrosu (Model 4) kullanılarak dört ayrı aracılık analizi gerçekleştirilmiş ve kişilerarası bağımlılık değişkeninin 4 farklı modelde aracılık etkisi incelenmiştir.

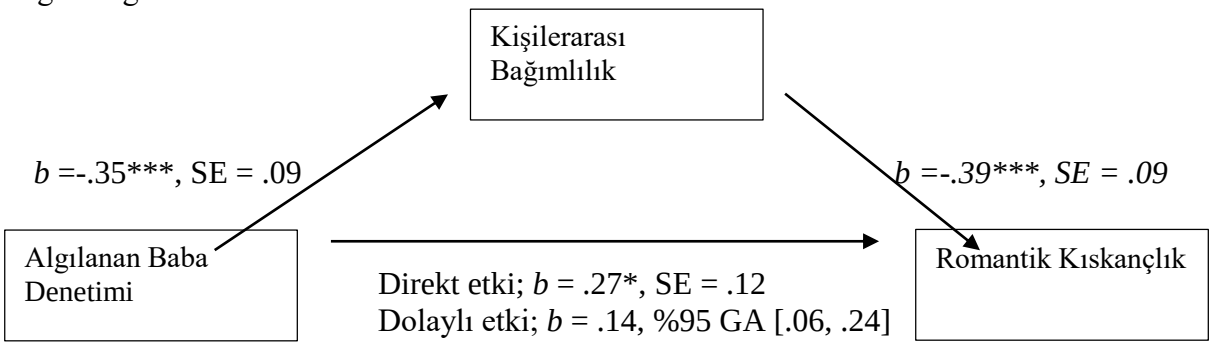
Algılanan anne denetiminin romantik kıskançlık üzerindeki etkisinde kişilerarası bağımlılığın aracılık rolü test edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, algılanan anne denetiminin kişilerarası bağımlılık üzerindeki etkisi (b =-.33, SE = .10, p <.05) ve kişilerarası bağımlılığın romantik kıskançlık üzerindeki etkisi istatistiksel olarak anlamlıdır (b =-.44, SE = .09, p <.001).

Şekil 1. Algılanan Anne Denetiminin Romantik Kıskançlık Üzerindeki Etkisinde Kişilerarası Bağımlılığın Aracılık Modeli



Not. Aracılık analizleri standardize edilmemiş katsayılar (b) kullanılarak raporlanmıştır. Bu model için Hayes (2022) tarafından geliştirilen "Intr oduction to Mediation, Moderation, and Conditional Process Analysis" kitabındaki aracılık modeli (Model 4) kullanılmıştır.
ns p >.05, *p <.05, **p <.01, ***p <.001
Aracı değişken olan kişilerarası bağımlılığın modeldeki etkisi incelendiğinde algılanan anne denetiminin romantik kıskançlık üzerindeki doğrudan (b = .04, p> .05) etkisi anlamsızdır. 5000 yeniden örnekleme ile yürütülen Bootstrap analizi sonuçlarına göre, algılanan anne denetiminin romantik kıskançlık üzerindeki dolaylı etkisi (b = .14, %95 GA [.04, .28]) ise istatiksel olarak anlamlıdır. Aracı değişken olarak kişilerarası bağımlılık tam aracılık üstlenmiştir (Bkz. Şekil 1).
Denetim boyutunun bir diğeri babanın göstermiş olduğu denetim/kontrolüdür. Analiz sonuçları incelendiğinde, algılanan baba denetiminin aracı değişken olan kişilerarası bağımlılığı negatif ve anlamlı yönde (b =-.35, SE = .09, p <.001); kişilerarası bağımlılığın da bağımlı değişken olan romantik kıskançlığı negatif ve anlamlı düzeyde yordadığı saptanmıştır (b =-.39, SE = .09, p <.001). Aracı değişken olan kişilerarası bağımlılığın baba denetimi ve romantik kıskançlık ilişkisinde aracılık etkisi incelendiğinde ise algılanan baba denetiminin romantik kıskançlık üzerindeki doğrudan etkisinin istatistiksel olarak anlamlı kaldığı (b = .27, SE = .12, p <.05) ve 5000 yeniden örnekleme analizi sonuçlarına göre dolaylı etkinin de anlamlı olduğu (b = .14, %95 GA [.06, .24]) saptanmıştır. Kişilerarası bağımlılığın bu modelde kısmı aracılık etkisine sahip olduğu anlaşılmaktadır (Bkz. Şekil 2).

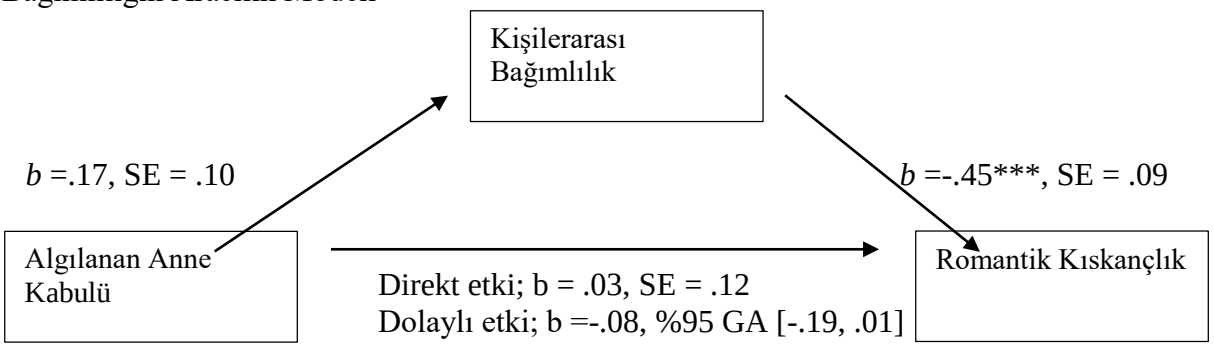
Şekil 2. Algılanan Baba Denetiminin Romantik Kıskançlık Üzerindeki Etkisinde Kişilerarası Bağımlılığın Aracılık Modeli



Not. Aracılık analizleri standardize edilmemiş katsayılar (b) kullanılarak raporlanmıştır. Bu model için Hayes (2022) tarafından geliştirilen "Introduction to Mediation, Moderation, and Conditional Process Analysis" kitabındaki aracılık modeli (Model 4) kullanılmıştır.
ns $p > .05$, *$p < .05$, **$p < .01$, ***$p < .001$

Çocuk yetiştirme tutumlarının kabul boyutunda ise, algılanan anne kabulünün aracı değişken olan kişilerarası bağımlılık üzerindeki etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olmadığı (b = .17, SE =.10, p>.05); buna karşın, kişilerarası bağımlılığın bağımlı değişken olan romantik kıskançlığı negatif ve anlamlı düzeyde yordadığı saptanmıştır (b =-.45, SE = .09, p <.001). Aracı değişken modele dahil edildiğinde; algılanan anne kabulünün romantik kıskançlık üzerindeki doğrudan etkisinin istatistiksel olarak anlamsızdır (b =.03, SE =.12, p>.05). 5000 yeniden örnekleme (bootstrap) analizi sonuçlarına göre, algılanan anne kabulünün romantik kıskançlık üzerindeki dolaylı etkisi de istatistiksel olarak anlamsızdır (b =-.08, %95 GA [-.19, .01]). Bu doğrultuda, algılanan anne kabulü ile romantik kıskançlık arasındaki ilişkide kişilerarası bağımlılığın herhangi bir aracılık rolü bulunmamaktadır (Bkz. Şekil 3).

Şekil 3. Algılanan Anne Kabulünün Romantik Kıskançlık Üzerindeki Etkisinde Kişilerarası Bağımlılığın Aracılık Modeli

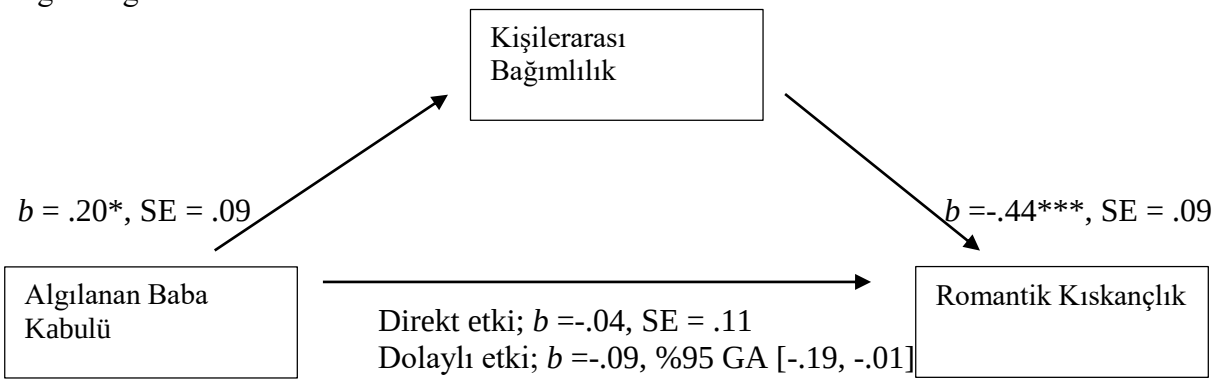


Not. Aracılık analizleri standardize edilmemiş katsayılar (b) kullanılarak raporlanmıştır. Bu model için Hayes (2022) tarafından geliştirilen "Introduction to Mediation, Moderation, and Conditional Process Analysis" kitabındaki aracılık modeli (Model 4) kullanılmıştır.
ns $p > .05$, *$p < .05$, **$p < .01$, ***$p < .001$

Araştırmanın son diğer aracılık etkisi, baba kabulü ve romantik kıskançlık ilişkisinde kişilerarası bağımlılığın aracı rolüdür. Yapılan analize göre algılanan baba kabulünün aracı

değişken olan kişilerarası bağımlılığı pozitif ve anlamlı yönde (b = .20, SE = .09, p <.05); kişilerarası bağımlılık da romantik kıskançlığı negatif ve anlamlı düzeyde yordamaktadır (b =-.44, SE = .09, p <.001). Aracı değişken olan kişilerarası bağımlılık modele eklendiğinde; algılanan baba kabulünün romantik kıskançlık üzerindeki doğrudan etkisi istatistiksel olarak anlamsız iken (b =-.04, SE = .11, p> .05); dolaylı etkinin istatistiksel olarak anlamlı olduğu anlaşılmaktadır (b =-.09, %95 GA [-.19,-.01]). Yapılan çalışmada elde edilen bulgular kontrol edildiğinde, kişilerarası bağımlılığın algılanan baba kabulü ile romantik kıskançlık arasındaki ilişkide tam aracılık etkisine sahip olduğu görülmektedir (Bkz. Şekil 4).

Şekil 4. Algılanan Baba Kabulünün Romantik Kıskançlık Üzerindeki Etkisinde Kişilerarası Bağımlılığın Aracılık Modeli



Not. Aracılık analizleri standardize edilmemiş katsayılar (b) kullanılarak raporlanmıştır. Bu model için Hayes (2022) tarafından geliştirilen "Introduction to Mediation, Moderation, and Conditional Process Analysis" kitabındaki aracılık modeli (Model 4) kullanılmıştır.
ns *p* >.05, **p* <.05, ***p* <.01, ****p* <.001

Elde edilen aracılık analizi bulgularına göre; kişilerarası bağımlılığın, algılanan ebeveynlik stilleri ile romantik kıskançlık arasındaki ilişkide anne denetimi ve baba kabulü değişkenleri için tam aracılık, baba denetimi değişkeni için ise kısmi aracılık rolü üstlendiği; buna karşın anne kabulü değişkeninde herhangi bir aracı rolü üstlenmediği saptanmıştır. Bu bağlamda, "Bireyin algıladığı ebeveynlik stillerinin romantik kıskançlık üzerindeki etkisinde kişilerarası bağımlılık aracı rol oynamaktadır" biçiminde kurulan hipotez 3 kısmen desteklenmiştir.

3.2. Ek Analizler

Katılımcıların kişiler arası bağımlılık, kıskançlık ve algıladıkları ebeveynlik stili puanları; cinsiyet, medeni durum, bir eğitim programına devam durumları ve psikiyatrik tanı alıp almadıklarına ilişkin demografik değişkenlerine göre anlamlı bir fark olup olmadığını incelemek amacıyla bağımsız örneklem t-testi uygulanmıştır. Analiz öncesinde varyans homojenliği varsayımı Levene testi ile değerlendirilmiş ve varyanslarına bakılmıştır. Katılımcıların medeni durum değişkenine göre kişiler arası bağımlılık puanlarının varyans homojenliği sağlanmadığından [F (1, 190) = 4.019, p = .046] düzeltilmiş t-testi değerleri dikkate alınmıştır. Analiz bulgularına göre, bekar (M = 39.88, SD = 12.78) ve evli (M = 40.86 SD = 19.90) grupların puan ortalamaları arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmamıştır, t (6.18) =-.129, p =.902. Katılımcıların kıskançlık ve algıladıkları ebeveynlik stili alt puanlarına göre ise istatiksel olarak anlamlı bir farklılık gözlenmediği (p>.05) t değerlerinin -.19 ile .85 arasında, p değerlerinin .40 ile .85 arasında değiştiği saptanmıştır. Cinsiyete göre çocuk yetiştirme tutumları baba denetim, anne kabul ve denetim alt boyut puanlarının farklılaşma eğilimi gösterdiği ancak istatistiksel anlamlılık sınırına (p<.05) ulaşmadığı görülmektedir (Bkz.

Tablo 8). Öte yandan kişiler arası bağımlılık puanlarında ise kadınlar (grup1) ve erkekler (grup2) arasında istatistiksel olarak yüksek düzeyde anlamlı bir fark olduğu görülmüştür, t (190) =-3.51, p <.001. Bu bulgu, kadınların erkeklere oranla daha yüksek kişiler arası bağımlılık düzeyine sahip olduğunu göstermektir (Bkz. Tablo 8.). Baba kabul/ilgi ve kıskançlık puanlarının ise cinsiyet değişkenine göre t değerleri -.18 ile 1.92 arasında, p değerleri ise .005 ile .86 arasında olup istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık göstermediği saptanmıştır (p> .05). Katılımcıların bir eğitim programına devam durumlarına ilişkin t değerleri -.07 ile 1.00 arasında, p değerleri ise .31 ile .94 arasında olup istatistiksel olarak anlamlı bir farklılık göstermediği saptanmıştır (p > .05).Katılımcıların psikiyatrik tanı alıp almadıklarına ilişkin kişiler arası bağımlılık, kıskançlık ve algıladıkları ebeveynlik alt puanları arasında anlamlı bir fark olup olmadığına bakıldığında ise t değerleri -.61 ile -3.54 arasında, p değerleri .12 ile .54 aralığında değişmekte olup anne kabul/ilgi alt boyutu dışında anlamlı bir fark bulunamamıştır, p > .05. Karşılaştırılan iki grubun (psikiyatrik tanı almayan ve alan) anne kabul alt boyutu ile arasında anlamlı bir fark olduğu görülmektedir, t (190) = -3.54, p < .001. Bu bulgu, psikiyatrik tanı almayanların (n = 36) alanlara (n = 155) kıyasla daha yüksek düzeyde anne kabulü/ ilgisi algıladıklarını göstermektedir.

Tablo 8. Ölçek Puanlarının Cinsiyete Göre Karşılaştırılmasına İlişkin t-Testi Sonuçları

Ölçek Puanları	Kadın (M ± SD)	Erkek (M ± SD)	*t*	*p*	Cohen's *d*
1.KAB	37.78±12.60	44.73±12.80	-3.51	<.001	.55
2.CBK	80.00±18.32	78.71±14.99	.474	.636	.08
3.CYT Anne Kabul	37.89±9.71	40.81±9.73	-1.93	.056	-.30
4.CYT Anne Denetim	30.90±9.50	28.27±7.63	1.87	.062	.29
5.CYT Baba Kabul	32.98±11.38	33.29±9.99	-1.81	.857	-.03
6.CYT Baba Denetim	29.65±10.18	26.56±9.79	1.96	.051	.31

Not. KAB= Kişilerarası Bağımlılık Ölçeği, CBK= Çok Boyutlu Kıskançlık Ölçeği, CYT= Çocuk Yetiştirme Tutumları Ölçeği

3.3. Tartışma

Algılanan Ebeveynlik ve Kişilerarası Bağımlılık

Araştırmanın birinci sorusu olan "Algılanan ebeveynlik kişilerarası bağımlılık ile ilişkili midir?" sorusu doğrultusunda elde edilen bulgular incelendiğinde bireylerin anne ve babadan algıladıkları denetim ile kişilerarası bağımlılık arasında negatif ve düşük düzeyde ilişki saptanırken babadan algıladıkları kabul/ilgi boyutu arasında pozitif ve düşük düzeyde; anneden algıladıkları kabul/ilgi boyutu arasında ise ilişki saptanmamıştır. İlişkili bulunan anne-baba denetim/kontrol ve baba kabul/ilgi boyutları çoklu doğrusal regresyon modeline aynı anda dahil edildiğinde yalnızca baba denetim/kontrolü kişilerarası bağımlılığı negatif ve anlamlı düzeyde yordamaktadır. Bu bulgu beliren yetişkinlikteki bireylerin babalarından algıladığı sıkı denetim, kontrol ve disiplin arttıkça kişilerarası bağımlılık düzeylerinin azaldığını göstermektedir. Bireylerin bakım verenlerinden algıladıkları ebeveynlik stillerinin (demokratik, otoriter, izin verici ve ihmalkâr) kişilerarası bağımlılık düzeyleri üzerinde anlamlı bir fark yaratıp yaratmadığını test etmek için denetim ve kabul boyutlarının çaprazlanması yöntemi ile Tek Yönlü ANOVA yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda, kişilerarası bağımlılık ile anneden algılanan ebeveynlik stilleri arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı olmazken; Babadan algılanan ebeveynlik stillerinin ise kişilerarası bağımlılık düzeyleri üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark yarattığı saptanmıştır. Grupların ortalama puanları incelendiğinde, kişilerarası bağımlılık düzeyi en yüksek olan grup ebeveynlerinden izin verici stili algılayanlar olurken,

bağımlılık düzeyi en düşük olan grup demokratik stili algılayanlar olmaktadır. Bu bulgular doğrultusunda ebeveynlik stilleri bağımlılık üzerinde anlamlı bir belirleyici olmakla birlikte "Baskıcı, authorian (otoriter) ebeveynlik stilini algılayan bireylerin kişilerarası bağımlılık düzeyleri daha yüksek olacaktır." yönündeki Hipotez 1 desteklenmemiştir.

Çocuk ve ebeveyn arasında kurulan ilişkide Bahmani ve ark. (2023) ebeveyn kabul ve desteğinin çocukların bağlanma güvenliğiyle ilişkilendirilebileceğini belirtir. Ergenlerin ebeveyn bağlılığı arttıkça kişilerarası bağımlılık düzeyleri, kişilerarası bağımlılıkları arttıkça ebeveyn bağlılıkları da artmaktadır (Anike, 2022). Ebeveyn kabulünün, ilgi ve hoşgörünün fazla olduğu disiplin ve denetimin az olduğu izin verici ebeveynlik stilini algılayan bireylerin daha yüksek bağımlılık göstermeleri ebeveynlerinden görmüş oldukları bu kabul ve desteği bir bağlılık olarak algılamalarını ve yaşantılarında da bunu normal görmeleri ve beklediklerini düşündürtmektedir.

Ergenin ebeveyni ile sahip olduğu bağlanma şekli ve düzeyi arasındaki ilişki duygularını düzenleme becerisine katkıda bulunmaktadır (Pearson, 2013; Akt: Sanchez, 2024). Kabul ve desteğin daha çok sunulduğu izin verici ebeveynlikte ebeveynler çocuğun üzerinde kurması gereken otorite ve sınırlar bakımından eksik olup, kararlı ve net olmayarak daha çok arkadaş gibi davranmaktadırlar. Bu çocuklarda, öz-düzenleme ve öz-kontrol becerilerinde ve ilgili konularda zorluk yaşama, öz disiplin eksikliği ve kötü karar verme sorunları görülebilmektedir (Cherry, 2022). Sağlıklı sınırların ne olduğunu öğrenemeyen çocuğun ileri dönem yaşantısında bireysel sınırlarını çizmekte zorlanıp ikili ilişkilerinde de bağımlı bir kişilik geliştirmesine yol hazırlayabileceği düşünülmektedir. En az kişilerarası bağımlılık düzeyinin ebeveyn denetim ve kabulünün eşit olduğu demokratik (authoritative) stil algılayanlarda saptanmıştır. Demokratik ebeveynlik, çocukların psikolojik uyumunu destekleyen koruyucu bir faktör olmaktadır (Babaeian vd., 2024). Babanın sunduğu yapıcı denetim baba kabulü ile birleştiğinde (demokratik ebeveynlik) çocuğa emniyetli bir yapı sunarak kişilerarası bağımlılık düzeyini azalttığı ve bireyin kendi sınırlarını çizerek özerkliğini destekleyebileceği düşünülmektedir.

Araştırmadan elde edilen bulgulara göre baba sıkı denetim/kontrol boyutunun yüksek olması ise bireylerin kişilerarası bağımlılığını azaltmaktadır. Baba denetiminin dengeli bir ebeveynlik için baba kabulü ile birlikte olması gerekmekle birlikte (demokratik ebeveynlik) çocuğun üzerinde kurulan baskı ve kontrol aşırıya kaçtığında bağımsızlığını sağlıklı bir özerklik olarak değil işlevsiz bir bağımsızlık olarak yaşantısına yansıtabilir. Literatürde ebeveyn psikolojik kontrolünün, Kopukluk ve Reddedilme ile Zedelenmiş Özerklik şema alanlarını tahmin ettiği, Kopukluk ve Reddedilme alanının ise kaygılı ve kaçınmacı bağlanmayı anlamlı ve pozitif yönde yordadığı bulunmuştur (Mullinax ve Turner, 2024). Sınır-özerklik dengesinin bozularak çocuğun kendine olan yeterliliğinin zedelenmesi ve bağımsız düzenleme becerilerinin bozulması ebeveynlerin göstermiş olduğu koruyuculuk ve denetim ile ilişkili olabilmekte, bu da kaygılı ve kaçıngan örüntüleri attırarak bireyin diğer insanlarla yakınlık kurmasına ve bağımlılık ilişkilerine temkinli yaklaşmasına neden olabilmektedir (Baumrind, 1991).

Brehm'in (1966) Psikolojik tepki teorisine göre taleplerin özgürlüğe yönelik bir tehdit olarak görüldüğü baskıcı durumlarda bireyin davranışları standart koşullar içerisindeki kişisel tercihlerinin aksine, karşıt bir tepki olabilmektedir. Her bireyin tepkisel davranma eğilimleri birbirinden farklı olup durumlara göre değişebilmekte ve tepkisel eğilimi yüksek bireylerin özgürlüklerine yönelik bir tehdit algıladıklarında daha hassas olmaları beklenmektedir (Van Petegem vd., 2015). Benzer şekilde öz belirleme teorisinin (Ryan ve Deci, 2000) merkezinde yer alan özerklik ihtiyacı karşılanmadığında birey istenmeyen davranışlarda bulunmakta, düşünmekte ve hissetmekte olup bireyler bu psikolojik ihtiyaçlarının karşılanmamasıyla ortaya çıkan tatminsizlikle başa çıkmak için otorite figürünü kabul etmeyerek istenenin tam tersini yapma eğilimdedir (Van Petegem vd., 2015). Kontrolcü ebeveyne sahip ergenlerde öz belirleme

teorisinde tanımlanan temel psikolojik ihtiyaçların daha fazla karşılanmamasıyla ilişkili olup ebeveynleri tarafından belirli kalıplara sokulmaya zorlandıklarından karşıtlıkçı bir tutum sergilemeleri muhtemeldir (Van Petegem vd., 2015). Van Petegem ve ark. (2015) çalışmalarında ergenlerin ebeveynlerinden görmüş oldukları kontrolcü ve baskıcı tutumlarının karşıtlıkçı meydan okuma ve tepkisellik yarattığını ve bu durumun yaş veya cinsiyet fark etmeksizin tutarlı bir örüntü sergilediğini bulmuşlardır. Ebeveyninden sıkı denetim ve kontrolünü daha fazla algılayan, hareketleri, düşünceleri sorgulanan ve baskılanan birey özerkliğini sağlamak adına ebeveyn otoritesine karşı reaktif bir direnç geliştiriyor ve bağımsızlığını önceleyerek daha az kişilerarası bağımlılık sergiliyor olabilir.

Kişilerarası Bağımlılık ve Romantik Kıskançlık

Araştırmanın ikinci sorusu "Kişilerarası bağımlılık romantik partnere yönelik kıskançlık ile ilişkili midir?" doğrultusunda değişkenler arasındaki ilişki incelendiğinde bireylerin kişilerarası bağımlılık düzeyleri ile partnerlerine yönelik kıskançlıkları arasında negatif ve orta düzeyde anlamlı bir ilişki saptanmıştır. Yani, bireylerin kişilerarası bağımlılık düzeyleri arttıkça kıskançlık düzeyleri azalmaktadır. Bu bağlamda "Kişilerarası bağımlılık düzeyi yüksek olan birey romantik ilişkisinde partnerine karşı daha kıskanç bir tutum sergiler." şeklinde kurulan hipotez 2 desteklenmemiştir.

Bağımlı bireyler farkında olarak veya olmayarak kendilerini yaşamlarında yetersiz, zayıf ve çaresiz; başkalarını ise güçlü, kudretli, kendilerinden daha üst bir mertebede veya donanımlı görme eğilimdedirler (Bornstein, 2005, McClintock vd., 2014, Zivkovic, 2022). McClintock ve ark. (2014) kişilerarası bağımlılık ile bireyin güvence arayışını pozitif ilişkili bulmuştur. Bireylerin dışarıdan destek ve güvence aramaları tekrarlandıkça kişinin beceriksiz ve çaresiz olduğuna dair inancını güçlendirerek bu davranışlarının devam etmesine neden olabilmektedir (McClintock vd., 2014). Bağımlı bireyler ilişki içerisinde sürekli olarak partnerlerinden onaylanma, destek görme ihtiyaçlarıyla karşı tarafı daha baskın taraf ve onay merci olarak görmektedirler. Bağımlı bireyler yaşamlarında kendilerinden daha baskın biriyle karşılaştıklarında onun göstermiş olduğu ilgi ve onaya bağlı olarak kabul edilmişlik hissinin neden olduğu olumlu duygular ile benlik saygılarında bir artışa bağlı olarak onları daha sıcak algılamakta, onlara karşı daha yakın ve boyun eğici davranmaktadır (Wang vd., 2014). Bireyin ilişki içerisinde kendisini karşısındakinden daha yetersiz, aşağı görüyor olması ve psikolojik olarak partnerinin kontrolüne girmeye açık olmasından ötürü ilişkide yaşanabilecek herhangi bir kıskançlık durumunda, kıskançlık duygusunu onun gözünden izleyerek olası bir tehdidi bastıracağı ve bir sorun görmeyeceği olasıdır.

Alanyazın incelendiğinde, Natoli ve ark. (2021) yaptıkları çalışmada klinik (patolojik) ve sağlıklı bağımlılığı olan bireyleri incelemişlerdir. Bireylerin bağımlılığa yatkınları sebebiyle bilinçli veya bilinçsiz bağımlılık arayışları onların romantik ilişkilerini kolaylaştırmakla birlikte bağımlı kişilik tarzı fark etmeksizin romantik bir ilişki içerisinde olma olasılıkları daha fazla olmaktadır (Natoli vd., 2021). Başkasının bakım ve desteğine aşırı ihtiyaç duyan birey bir kıskançlık tehdidi algılasa bile mevcut romantik ilişkisini korumak ve sürdürmek için duygularını geri plana atarak, bastırıyor olabilir. Bağımlılık göstermeyen bireyler bile yalnız kalma korkusu ile tatmin edici olmayan ilişkiler yaşama eğilimdedirler (Babaeian vd., 2024). Bağımlılıkta bireyin düşünme ve karar verme gibi yeteneklerinin eksikliği, kararı karşı tarafa bırakarak bilinçli olarak çocuk kalmayı seçmesi, ayrı bir birey olmaması terk edilme tehdidinin önüne geçmeye çalışmasıdır denilebilir (Zivkovic, 2022).

Çayan ve Kalkan (2018) kişilerarası bağımlılık eğilimi ile kişilerarası bilişsel çarpıtma

arasındaki ilişkiyi inceledikleri araştırmalarında, kişilerarası bağımlılık ölçeğinin sosyal özgüven eksikliği alt boyutu ile kişilerarası bilişsel çarpıtma alt ölçeğinin kişilerarası reddedilme, ilişkiye dair gerçekçi olmayan beklentiler alt ölçeği arasında pozitif bir ilişki saptanmıştır. Çayan ve Kalkan (2018) sosyal özgüven eksikliği yaşayan; başkaları tarafından onaylanma, desteklenme, yardım alma gibi talepleri karşılılık bulmayan bağımlı bir bireyin ilişkilerinde istenmediğini varsayarak karşısındaki ile daha sıkı bir ilişki kurmaktan uzak durabileceğini, yakınlıktan kaçınabileceğini belirtmiştir. Sadikovic ve ark. (2014) kişilerarası-CAPS (Bilişsel-Duygusal İşleme Sistemi) çerçevesini, bağımlılığın kişilerarası algılar ve duyguların kişi içi ilişkisini nasıl etkilediğini inceledikleri araştırmasında; bağımlı kişilerin kurmuş oldukları ilişkilerde, karşısındaki kişiyi daha baskın, soğuk ve sert algıladıklarında duygusal olarak daha az uyarıldıklarını, donuklaştıklarını ifade etmektedirler. Bu bağlamda kişilerarası bağımlılık düzeyi yüksek olan bireyler partnerlerini kaybetmemek için ilişki içerisinde daha pasif ve makul kalarak ilişkiyi devam ettirmeye çalışıyor olabileceği düşünülmektedir.

Romantik ilişkilerde olası bir tehdit (kıskançlık tehdidi) algılandığında bireyler görünürde bir tepki vermek yerine kıskançlık doğurabilecek davranışı tehdit edici olmayan bir çerçeveye oturtarak olası bir sorunu normalize edebilmektedirler. Bireyler partnerlerinin geçmişine yönelik bilgi aradıklarında olası duygusal olumsuz sonuçları önlemek amacıyla daha fazla bilgi aramaktan kaçınarak veya olaya/duruma farklı bir yönden bakarak bilişsel yeniden çerçevelendirme yoluna gitmek gibi bir savunma stratejisi izlemektedirler (Frampton ve Fox, 2018).

Algılanan Ebeveynlik ve Romantik Kıskançlık İlişkisinde Aracı Değişken Olarak Kişilerarası Bağımlılık

Araştırmanın üçüncü sorusu "Kişilerarası bağımlılık, bireyin algıladığı ebeveynlik stili ve romantik partnere yönelik kıskançlık ile ilişkisini yordar mı?" doğrultusunda kişilerarası bağımlılığın, algılanan ebeveynlik ve romantik kıskançlık ilişkisinde aracı rolü incelenmiştir. Aracı analizler açısından kişilerarası bağımlılık anne-baba denetim/kontrolü ile anne-baba ilgi/kabulü olmak üzere dört ayrı şekilde aracılık rolü incelenmiştir.

Kişilerarası bağımlılığın aracı rolüne denetim boyutu üzerinden bakıldığında, algılanan anne denetimi ile romantik kıskançlık ilişkisinde tam aracılık, algılanan baba denetimi ile olan ilişkide ise kısmi aracılık rolü üstlenmektedir. Bireylerin algıladıkları anne ve baba denetiminin yükselmesi bireylerin kişilerarası bağımlılıklarının düşmesini yordarken, düşük kişilerarası bağımlılık da romantik kıskançlığın artmasını yordamaktadır. Algılanan anne- baba kabulünün romantik kıskançlık ile ilişkisinde kişilerarası bağımlılığın aracılığı incelendiğinde ise baba kabulü ile tam aracı rol üstlendiği saptanmıştır. Algılanan baba kabulünün yükselmesi bireylerin kişilerarası bağımlılıklarının artmasını yordarken, artan kişilerarası bağımlılık ise romantik kıskançlığın azalmasını yordamaktadır. Diğer taraftan, kişilerarası bağımlılığın algılanan anne kabulü ile romantik kıskançlık ilişkisinde ise herhangi bir aracılık rolünün olmadığı saptanmıştır. Bu bağlamda "Bireyin algıladığı ebeveynlik stillerinin romantik kıskançlık üzerindeki etkisinde kişilerarası bağımlılık aracı rol oynamaktadır." şeklinde kurulan hipotez 3 kısmen desteklenmiştir.

Babadan algılan kabul ve desteğe bağlı olarak kişilerarası bağımlılık düzeylerinin artması, algılanan anne kabulünde ise böyle bir sonuca ulaşılamaması, belki de geleneksel ailelerde baba otoritesinin görünürlüğünün daha ön planda (Korkmaz, 2022) olmasıyla açıklanabilir. Babanın çocuk yetiştirmedeki rolü ve desteği anneninkinden farklı olarak kendine özgü katkılar sunmaktadır (Jeynes, 2016). Bu bağlamda babanın çocuğa destekleyici, onaylayıcı bir şekilde yaklaşması bireyin babasından kabul ve destek algılıyor olması yani bireyin babasıyla olan ilişkisinin sağlıklı bir dinamiğe oturtması ile birey partnerine karşı sağlıklı bir bağımlılık

gerçekleştiriyor olabilir. Haliyle romantik ilişkilerinde partnerine karşı daha fazla bağlılık, güven duygusu geliştirerek kıskançlık duygusunu daha olağan seviyede yansıtıyor olabilir. Ancak bireyin babasından algıladığı kabulün artması ile bireyin artan kişilerarası bağımlılığı her zaman işlevsel veya sağlıklı bir ilişki dinamiğine işaret etmiyor olabilir. Bağımlılığı yüksek bireyin desteklenme ve onaylanma ihtiyacı yüksek olup, duygusal ve zihinsel olarak partnerine aşırı bağlandığı durumda ilişki içerisinde olası bir tehdidi partnerinin bakış açısından izleyerek, yeniden çerçevelendirerek bastırma ve normalize etme yoluna gidebileceği düşünülmektedir.

Bireyler aile içerisinde görmüş oldukları yüksek sıkı kontrol ve baskıya bağlı olarak düşüncelerinin önemsenmemesi, kararlarının sorgulanması ve desteklenmemesi gibi sürekli bir denetim altında bulunduklarından bilinçli bir şekilde veya bilinçsiz bir tepki olarak kendi bireysel yaşantılarında daha özerk olma, kendi karar ve düşünceleri ile yetinme yoluna gidiyor olabilirler. Beliren yetişkinlik bir geçiş ve gençlerin genellikle bağımsızlık kazanmaya çalıştıkları bir dönem olmaktadır (Arnett, 2000). Bu özerklik hali ikili ilişkilerde kendisini aşırı bağımsızlık şeklinde kaçıngan bağlanma olarak gösteriyor olabilir. Bir araştırmada ebeveyn otoriter tutumu ile kaçınan bağlanma düşük düzeyde pozitif ilişkili bulunmuştur (Bakır, 2026). Kaygılı bağlanmaya kıyasla daha zayıf düzeyde de olsa kaçınan bağlanma örüntüsüne sahip bireyler ilişkilerinde duygusal yakınlıktan kaçınma eğiliminde olup ilişki doyumları olumsuz etkilenmektedir (Bakır, 2026). Bireyin özerkliği, destek alma ihtiyacı az olsa dahi kurmuş oldukları ilişkilerde kendi bireysellikleri ön planda olup, bağımsız hareket etmeye odaklı olduklarından partnerlerini kaybetme endişesi göstermeden aşırı kıskançlık davranışları sergiliyor olabileceği düşünülmektedir. Araştırmada kullanılan Çok Boyutlu Kıskançlık Ölçeği kıskançlık seviyesini ölçmekle birlikte bireylerin aldıkları yüksek puanlar daha yüksek kıskançlık seviyesini göstermektedir (Karakurt, 2001).

Anne denetimi ve baba kabulü kişilerarası bağımlılık üzerinden kıskançlığı etkilemesi, kıskançlık düzeyinin yüksek olduğu ve ilişkiyi sağlıklı dinamiklerden uzaklaştırdığı noktada bireylerin kişilerarası bağımlılık düzeyleri üzerinden müdahale edilebileceği düşünülmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, beliren yetişkinlikteki bireylerde algılanan ebeveynlik stilinin romantik kıskançlık ile ilişkisinde kişiler arası bağımlılığın aracı rolünün incelenmesi amaçlanmıştır. Yapılan analizler sonucunda, algılanan ebeveynlik stillerinin belirli alt boyutlarının kişilerarası bağımlılıkla ilişkili olduğu ve kişilerarası bağımlılığın algılanan ebeveynlik stilleri ile romantik kıskançlık arasında aracı rol üstlendiği bulunmuştur.

4.1. Sınırlılıklar

Araştırmanın alan yazına sunduğu katkılardan önce çalışmanın içerdiği sınırlılıklardan bahsedilecektir. Bu süreçte bazı yöntemsel ve pratik güçlüklerle karşılaşılmıştır. Araştırmanın verileri öz-bildirim ölçekleri aracılığıyla toplanmıştır. Katılımcılar, kişilerarası bağımlılık eğilimlerini ve romantik kıskançlık düzeylerine ilişkin değerlendirmelerinde sosyal beğenirlik eğilimi doğrultusunda veya kendilerini olduklarından daha bağımsız biçimde sunmuş olabilir. Bu durum, değişkenler arasındaki ilişkinin farklı biçimde ortaya çıkmasına neden olmuş olabilir. Bu nedenle, elde edilen bulgular yorumlanırken öz-bildirim yönteminden kaynaklanabilecek yanlılıkların dikkate alınması önerilmektedir.

Bir diğer nokta demografik bilgi formunda yer alan yaş kategorizasyonunda '22-25' ve '25+' seçeneklerinin her ikisinin de 25 yaşındaki katılımcıları kapsaması, bu yaş grubundaki bireylerin kategori seçiminde kararsız kalmasına neden olmuştur. Bu durum, 25 yaşındaki bazı katılımcıların 25+ seçeneğini işaretleyerek araştırma dışında kalmalarına neden olmuş ve veri setinin yaş dağılımı üzerinde beklenmeyen bir kısıtlılık oluşturmuştur.

Mevcut çalışmanın yukarıda belirtilen sınırlılıklarına rağmen alan yazına önemli katkılar sunabileceği düşünülmektedir. Özellikle kişilerarası bağımlılık değişkeninin literatürde

ebeveynlik ve kıskançlık ilişkisinde aracı değişken olarak sınırlı düzeyde ele alınması bu çalışmanın ilgili alana özgün bir katkı sağlayabileceğini düşündürmektedir. Ayrıca, araştırmada incelenen değişkenler arasındaki ilişkilerin beklenen yönün aksine negatif yönde bulunması (örneğin ebeveynlerden algılanan denetim/kontrolü ile kişilerarası bağımlılık ve kişilerarası bağımlılık ile kıskançlık ilişkisinin negatif ilişkili bulunması), mevcut bulguların ilgili literatüre farklı bir bakış açısı kazandırabileceğini ve gelecekte gerçekleştirilecek araştırmalar için yeni tartışma alanları oluşturabileceğini düşündürmektedir.

4.2. Öneriler

Gelecekte gerçekleştirilecek araştırmalarda kişilerarası bağımlılık değişkenine daha fazla yer verilmesi önerilmektedir. Literatürde bağımlılığın klinik boyutuna (Zahro ve ark., 2026) veya ilişkisel boyutlarına (Guan ve ark., 2025) ilişkin çeşitli çalışmalar bulunmasına rağmen algılanan ebeveynlik ve romantik kıskançlık ile ilişkisinin sınırlı düzeyde ele alındığı görülmektedir. Gelecekte yapılacak araştırmalarda daha geniş, çeşitli örneklem grupları ve değişkenler ile çalışılması daha kapsamlı bulguların elde edilmesini sağlayabilir Ayrıca, dijitalleşmenin ve çevrimiçi etkileşimlerin giderek arttığı günümüzde bireylerin yüz yüze sosyal etkileşimlerden uzaklaşarak sosyal bağların zayıflaması (Chari, 2025) ve bireylerin sosyal medyanın beğenirlik algısı üzerinden şekillenmeleri kişilerarası bağımlılık eğilimleri üzerinde etkili olabilecek faktörlerden biri olarak ileri çalışmalarda değerlendirilebilir. Romantik kıskançlığın altında yatan dinamiklerin anlaşılması ile hem literatüre hem de uygulamalı psikoloji alanına bir zemin sunabileceği düşünülmektedir. Bu bağlamda, kişilerarası bağımlılığın öncülleri ve sonuçlarına ilişkin araştırmaların artırılması, bireylerin psikososyal iyi oluşlarının anlaşılması ve desteklenmesi açısından önemli katkılar sağlayabilir. Buna ek olarak, mevcut araştırma psikiyatrik bir tanı almamış bireylerle yürütülmüş olup kişilerarası bağımlılığın klinik düzeyde olmayan görünümü incelenmiştir. Yürütülecek başka araştırmalar ile kişilerarası bağımlılığın klinik boyutları bu bağlamda ele alınabilir.

KAYNAKÇA

Ainsworth, M. D. S. (1969). Object relations, dependency, and attachment: A theoretical review of the infant-mother relationship. *Child Development*, 40(4), 969–1025. https://doi.org/10.2307/1127008

Anike, R. U. (2022). Relationship between parental attachment and interpersonal dependency among adolescents. *RUJMASS*, 8(1), 124–132.

Arnett, J. J. (2014). Emerging adulthood: The winding road from the late teens through the twenties (2nd ed.). Oxford University Press.

Arnett, J. J. (2000). Emerging adulthood: A theory of development from the late teens through the twenties. *American Psychologist*, 55(5), 469–480. https://doi.org/10.1037/0003-066X.55.5.469

Aşıcı, E. ve Sarı, H. İ. (2021). A proposed model to explain happiness in college students: The roles of perceived parenting styles, emotional self-efficacy, and forgiveness. *Journal of Adult Development*, 28, 332–345. https://doi.org/10.1007/s10804-021-09378-0

Avcı Çayır, G. ve Kalkan, M. (2018). The effect of interpersonal dependency tendency on interpersonal cognitive distortions on youths. *Journal of Human Behavior in the Social Environment*, 28(6), 771–786. https://doi.org/10.1080/10911359.2018.1458681

Babaeian, M., Shahmoradi, S. ve Naghsh, Z. (2024). The relationship between perceived parenting styles and fear of being single: The mediating role of dependency and undeveloped self schemas. *Journal of Applied Psychological Research*, 15(1), 1–20. https://doi.org/10.22059/japr.2024.362065.644674

Bahmani, T., Naseri, N. S. ve Fariborzi, E. (2023). Relation of parenting child abuse based on attachment styles, parenting styles, and parental addictions. *Current Psychology*, 42, 12409–12423. https://doi.org/10.1007/s12144-021-02667-7

Bakır, A. (2026). *Kıskançlık düzeyi, bağlanma tarzı ve ebeveyn tutumlarının romantik ilişkilerin süresi ve ilişki doyumu üzerindeki etkisi* [Yayımlanmış yüksek lisans tezi]. İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Başbuğ, S., Cesur, G. ve Durak Batıgün, A. (2017). Algılanan ebeveynlik biçimi ve yetişkin ayrılma anksiyetesi: Kişilerarası bilişsel çarpıtmaların aracı rolü. *Türk Psikiyatri Dergisi*, 28(4), 255–267.

Baumrind, D. (1972). An exploratory study of socialization effects on black children: Some black-white comparison. *Child Development*, 43(1), 261–267.

Baumrind, D. (1973). The development of instrumental competence through socialization. A. Pick (Ed.), *Minnesota Symposia on Child Psychology* içinde (Cilt 7, ss. 3–46). University of Minnesota Press.

Baumrind, D. (1991). The influence of parenting style on adolescent competence and substance use. *The Journal of Early Adolescence*, 11(1), 56–95.

Bornstein, R. F. (1992). The dependent personality: Developmental, social, and clinical perspectives. *Psychological Bulletin*, 112(1), 3–23.

Bornstein, R. F. (2005). *The dependent patient: A practitioner's guide*. American Psychological Association.

Bornstein, R. F., Krukonis, A. B., Manning, K. A., Mastrosimone, C. C. ve Rossner, S. C. (1993). Interpersonal dependency and health service utilization in a college student sample. *Journal of Social and Clinical Psychology*, 12(3), 262–279. https://doi.org/10.1521/jscp.1993.12.3.262

Bowlby, J. (1969). *Attachment and loss: Vol. 1. Attachment*. Basic Books.

Boyce, P. ve Parker, G. (1989). Development of a scale to measure interpersonal sensitivity. *Australian and New Zealand Journal of Psychiatry*, 23(3), 341–351.

Brehm, J. W. (1966). *A theory of psychological reactance*. Academic Press.

Chari, S. G. (2025). Social isolation among the connected generation: A review. *Journal of Social Science*, 5, Article 100013.

Cherry, K. (2022). *Permissive parenting characteristics and effects*. Verywell Mind. https://www.verywellmind.com/what-is-permissive-parenting-2794957

Choe, S. Y., Lee, J. O. ve Read, S. J. (2021). Parental psychological control perceived in adolescence predicts jealousy toward romantic partners in emerging adulthood via insecure attachment. *Social Development*, 30(4), 1040–1055.

Curun, F. ve Çapkın, M. (2014). Romantik kıskançlığın bağlanma stilleri, benlik saygısı, kişilik özellikleri ve evlilik doyumu açısından yordanması. *Psikoloji Çalışmaları*, 34(1), 1–22.

Darling, N. (1999). *Parenting style and its correlates* (ERIC Document Reproduction Service No. ED427896). ERIC. https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED427896.pdf

Darling, N. ve Steinberg, L. (1993). Parenting style as context: An integrative model. *Psychological Bulletin*, 113(3), 487–496.

De Cristofaro, V., Pellegrini, V., Salvati, M. ve Giacomantonio, M. (2023). Examining and understanding patterns of cognitive, emotional, and behavioral jealousy: Dispositional mindfulness as a protective factor in romantic relationships. *Journal of Social and Personal Relationships*, 40(5), 1368–1397. https://doi.org/10.1177/02654075221139631

Deci, E. L. ve 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.

Ezell, J. M. (2021). Understanding the situational context for interpersonal violence: A review

of individual-level attitudes, attributions, and triggers. *Trauma, Violence, & Abuse*, 22(3), 571–587.

Frampton, J. R. ve Fox, J. (2018). Social media's role in romantic partners' retroactive jealousy: Social comparison, uncertainty, and information seeking. *Social Media + Society*, 4(3), 1–12. https://doi.org/10.1177/2056305118800317

Frank, S. J., Poorman, M. O., Van Egeren, L. A., Sears, H. A., Chen, J. H., KINNEY, J. ve Ames, B. D. (1997). Perceived relationships with parents among adolescent inpatients with depressive preoccupations and depressed mood. *Journal of Clinical Child Psychology*, 26(2), 205–215.

Guan, C., Wang, J., Zhang, L., Xu, Z., Zhang, Y. ve Jiang, B. (2025). A longitudinal network analysis of the relationship between love addiction, insecure attachment patterns, and interpersonal dependence. *BMC Psychology*, 13(1), Article 330.

Hirschfeld, R. M., Klerman, G. L., Gough, H. G., Barrett, J., Korchin, S. J. ve Chodoff, P. (1977). A measure of interpersonal dependency. *Journal of Personality Assessment*, 41(6), 610–618. https://doi.org/10.1207/s15327752jpa4106_6

Jeynes, W. H. (2016). Meta-analysis on the roles of fathers in parenting: Are they unique? *Marriage & Family Review*, 52(7), 665–688. https://doi.org/10.1080/01494929.2016.1157121

Jiao, C., Cui, M. ve Fincham, F. D. (2024). Overparenting and romantic relationships in emerging adulthood: Roles of relationship efficacy and parent–child relationship quality. *Family Relations*, 1–16. https://doi.org/10.1111/fare.13070

Johnson, L. (2024). Jealousy as a correlate of intimate partner homicide-suicide versus homicide-only cases: National Violent Death Reporting System. *Suicide and Life-Threatening Behavior*, 54(4), 663–672. https://doi.org/10.1111/sltb.13076

Karakurt, G. (2001). *The impact of adult attachment styles on romantic jealousy* [Yüksek lisans tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.

Karakurt, G. (2012). The interplay between self esteem, feeling of inadequacy, dependency, and romantic jealousy as a function of attachment processes among Turkish college students. *Contemporary Family Therapy*, 34, 334–345.

Korkmaz, H. (2022). Modern dönemde geleneksel kültür kodlarının/ataerkil yapının aile hayatına yansıması. *Antakiyat*, 5(1), 54–71.

Maccoby, E. E. ve Martin, J. (1983). Socialization in the context of the family: Parent-child interaction. E. M. Hetherington ve P. H. Mussen (Ed.), *Handbook of child psychology* içinde (Cilt 4, ss. 1–104). Wiley.

McClintock, A. S., McCarrick, S. M. ve Anderson, T. (2014). Excessive reassurance-seeking and interpersonal dependency: Assessing incremental associations. *Personality and Individual Differences*, 64, 94–97. https://doi.org/10.1016/j.paid.2014.02.023

Mullinax, H. M. ve Turner, L. A. (2024). Parental psychological control, early maladaptive schemas, and romantic attachment in emerging adults. *Current Psychology*, 43, 8589–8601. https://doi.org/10.1007/s12144-023-05012-2

Natoli, A. P., Schapiro-Halberstam, S. ve Kolobukhova, A. (2021). A multimethod investigation of sex, romantic relationships, and interpersonal dependency. *Archives of Sexual Behavior*, 50, 2621–2629. https://doi.org/10.1007/s10508-021-01932-x

Olave, L., Iruarrizaga, I., Herrero, M., Macía, P., Momeñe, J., Macía, L., Muñiz, J. A. ve Estévez, A. (2024). Exercise addiction and intimate partner violence: The role of impulsivity, self-esteem, and emotional dependence. *Behavioral Sciences*, 14(5), Article 420. https://doi.org/10.3390/bs14050420

Pfeiffer, S. M. ve Wong, P. T. P. (1989). Multidimensional jealousy. *Journal of Social and Personal Relationships*, 6(2), 181–206.

Pincus, A. L. ve Wilson, K. R. (2001). Interpersonal variability in dependent personality. *Journal of Personality*, 69(2), 223–251.
Sadiković, S., Branovački, B., Milošević, V., Bodroža, B. ve Stančić, V. (2014). Interpersonal dependency and emotion in everyday life. *Journal of Research in Personality*, 53, 5–12. https://doi.org/10.1016/j.jrp.2014.07.009
Safran, J. ve Segal, Z. (1996). *Interpersonal process in cognitive therapy*. Basic Books.
Sanchez, J. H. (2024). *Lived experiences of young adults exposed to negligent and permissive parenting styles* (Yayın No. 31236410) [Doktora tezi, Walden University]. ProQuest Dissertations & Theses Global.
Steinberg, L. (2019). *Adolescence* (12. basım). McGraw-Hill Education.
Sümer, N. ve Güngör, D. (1999). Çocuk yetiştirme stillerinin bağlanma stilleri, benlik değerlendirmeleri ve yakın ilişkiler üzerindeki etkisi. *Türk Psikoloji Dergisi*, 14(44), 35–58.
Ulusoy, Y. (2010). *Kişilerarası bağımlılık ölçeğinin (Interpersonal Dependency Inventory) uyarlama çalışması* [Yüksek lisans tezi, Çukurova Üniversitesi]. YÖK Tez Merkezi.
Ulusoy, Y. ve Durmuş, E. (2011). Kişilerarası bağımlılık eğiliminin beş faktör kişilik özellikleri açısından incelenmesi. *İnönü Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 12(2), 1–21.
Ulusoy, Y. ve Yılmaz, Ş. (2024). Kişilerarası bağımlılık ölçeğinin kısa formunun geliştirilmesi: Geçerlik ve güvenirlik çalışması. *Muş Alparslan Üniversitesi Dergisi*, 4(1), 29–49.
Van Petegem, S., Soenens, B., Vansteenkiste, M. ve Beyers, W. (2015). Rebels with a cause? Adolescent defiance from the perspective of reactance theory and self-determination theory. *Child Development*, 86(3), 903–918. https://doi.org/10.1111/cdev.12355
Wang, S., Roche, M. J., Pincus, A. L., Conroy, D. E., Rebar, A. L. ve Ram, N. (2014). Interpersonal dependency and emotion in everyday life. *Journal of Research in Personality*, 53, 5–12. https://doi.org/10.1016/j.jrp.2014.07.007
White, G. L. (1981). A model of romantic jealousy. *Motivation and Emotion*, 5, 295–310.
White, G. L. ve Mullen, P. E. (1989). *Jealousy: Theory, research, and clinical strategies*. Guilford Press.
Yeşilyaprak, Y., & Sevgi Yalın, H. (2026). Beliren Yetişkinlik Döneminde Romantik İlişki Doyumu: Zihinselleştirme ve Kişilerarası Duygu Düzenleme ile İlişkiler. *Türkiye Sosyal Araştırmalar Dergisi*, *30*(2), 430-446. https://doi.org/10.20296/tsadergisi.1787787
Zahro, E. B., Killis, G. ve Saraswati, I. (2026). "Spread one's wings": Cognitive-behavioral therapy for reducing interpersonal dependency in female college students. *Academic Journal of Psychology and Counseling*, 7(1), 143–174.
Zeinali, A., Sharifi, H., Enayati, M., Asgari, P. ve Pasha, G. (2011). The mediational pathway among parenting styles, attachment styles and self-regulation with addiction susceptibility of adolescents. *Journal of Research in Medical Sciences*, 16(9), 1105–1121.
Živković, A. (2022). Dependent personality and interpersonal dependency: At the intersection of developmental identity and interpersonal aspects. *British Journal of Psychotherapy*, 38(4), 680–695. https://doi.org/10.1111/bjp.12802

FİZİKSEL AKTİVİTE, SAĞLIKLI GENÇ YETİŞKİNLERDE FONKSİYONEL YÜRÜME KAPASİTESİ VE BİR DAKİKALIK KALP ATIŞ HIZI TOPARLANMASI İLE İLİŞKİLİDİR: KESİTSEL BİR ÇALIŞMA

Dr. Öğr. Üyesi Alp ÖZEL
Bolu Abant Izzet Baysal University, Faculty of Health Sciences, Department of Physiotherapy, 14030, Bolu
ORCID ID: 0000-0002-1215-7051
Senanur AKINCI
Bolu Abant Izzet Baysal University, Faculty of Health Sciences, Department of Physiotherapy, 14030, Bolu
ORCID ID: 0009-0006-7169-4523
Gamze AYDIN
Bolu Abant Izzet Baysal University, Faculty of Health Sciences, Department ofPhysiotherapy, 14030, Bolu
ORCID ID: 0009-0003-6911-3986
Kiana Meftahi NAMİN
Bolu Abant Izzet Baysal University, Faculty of Health Sciences, Department ofPhysiotherapy, 14030, Bolu
ORCID ID: 0009-0008-5625-1462
Roubina FATEHRAD
Bolu Abant Izzet Baysal University, Faculty of Health Sciences, Department of Physiotherapy,
14030, Bolu
ORCID ID: 0000-0002-7910-3461

ÖZET

Fiziksel aktivite; kardiyovasküler fonksiyonları, fonksiyonel egzersiz kapasitesini, egzersiz sonrası kalp hızı toparlanmasını (HRR), algılanan efor düzeyini ve yorgunluğu etkileyebilir. Bu kesitsel çalışmada, fiziksel olarak aktif ve inaktif sağlıklı genç yetişkinler arasında söz konusu parametrelerin karşılaştırılması ve fiziksel aktivitenin altı dakika yürüme mesafesi (6MWD) ile birinci dakika kalp hızı toparlanması (HRR) ile bağımsız olarak ilişkili olup olmadığının incelenmesi amaçlandı. Çalışmaya 18–35 yaş aralığında 50 katılımcı dahil edildi. Katılımcılar, Uluslararası Fiziksel Aktivite Anketi–Kısa Formu kullanılarak fiziksel olarak inaktif (n = 25) ve aktif (n = 25) olmak üzere iki gruba ayrıldı. İstirahat fizyolojik ölçümleri, altı dakika yürüme mesafesi, yürüme sonrası algılanan efor düzeyi ve Yorgunluk Şiddet Ölçeği puanları değerlendirildi. Birinci dakika kalp hızı toparlanması, koşu bandı egzersizi sırasında ulaşılan zirve kalp hızından, oturur pozisyonda bir dakikalık pasif toparlanma sonrasında ölçülen kalp hızının çıkarılmasıyla hesaplandı. Değişkenler arasındaki ilişkiler, Benjamini–Hochberg düzeltmesi uygulanan Spearman korelasyon analizleri ve çok değişkenli doğrusal regresyon modelleri kullanılarak incelendi. Aktif katılımcıların, inaktif katılımcılara kıyasla istirahat kalp hızlarının daha düşük (78,08 ± 4,84'e karşı 82,00 ± 5,16 atım/dk; p = 0,008), altı dakika yürüme mesafelerinin daha uzun (557,92 ± 33,66'ya karşı 529,96 ± 34,40 m; p = 0,006) ve birinci dakika kalp hızı toparlanmalarının daha yüksek (39,04 ± 7,52'ye karşı 31,00 ± 6,51 atım/dk; p < 0,001) olduğu belirlendi. Algılanan efor düzeyi ve yorgunluk açısından gruplar arasında istatistiksel olarak anlamlı bir fark saptanmadı. Fiziksel aktivite puanı ile istirahat kalp hızı (r_s = −0,44), altı

dakika yürüme mesafesi (r_s = 0,45) ve kalp hızı toparlanması (r_s = 0,46) arasında anlamlı korelasyonlar bulundu (tüm düzeltilmiş p değerleri = 0,008). Yaş, cinsiyet ve beden kütle indeksi için düzeltme yapıldıktan sonra, fiziksel aktivite puanının 10 kat daha yüksek olmasının, altı dakika yürüme mesafesinde 34,52 m'lik ve kalp hızı toparlanmasında 7,86 atım/dk'lık artışla ilişkili olduğu belirlendi (her ikisi için p < 0,001). Daha yüksek fiziksel aktivite düzeylerinin, daha iyi fonksiyonel yürüme performansı ve daha yüksek birinci dakika kalp hızı toparlanması ile ilişkili olduğu gösterildi. Bu parametreler, sağlıklı genç yetişkinlerde egzersizle ilişkili fonksiyonel durumun değerlendirilmesinde birbirini tamamlayıcı bilgiler sağlayabilir. Bununla birlikte, çalışmanın kesitsel tasarımı nedensel çıkarımlarda bulunulmasına olanak tanımamaktadır. Bu ilişkilerin yönünün belirlenebilmesi için boylamsal çalışmalara ihtiyaç vardır.

Anahtar kelimeler: Fiziksel aktivite, kalp hızı toparlanması, altı dakika yürüme testi, fonksiyonel egzersiz kapasitesi, algılanan efor

PHYSICAL ACTIVITY IS ASSOCIATED WITH FUNCTIONAL WALKING CAPACITY AND ONE-MINUTE HEART RATE RECOVERY IN HEALTHY YOUNG ADULTS: A CROSS-SECTIONAL STUDY

ABSTRACT

Physical activity may influence cardiovascular function, functional exercise capacity, post-exercise heart rate recovery (HRR), perceived exertion, and fatigue. This cross-sectional study compared these outcomes between physically active and inactive healthy young adults and examined whether physical activity was independently associated with six-minute walk distance (6MWD) and one-minute HRR. Fifty participants aged 18–35 years were classified as inactive (n = 25) or active (n = 25) using the International Physical Activity Questionnaire–Short Form. Resting physiological measures, 6MWD, post-walk perceived exertion, and Fatigue Severity Scale scores were assessed. One-minute HRR was calculated as peak treadmill heart rate minus heart rate measured after one minute of seated passive recovery. Associations were examined using Spearman correlations with Benjamini–Hochberg adjustment and multivariable linear regression models. Active participants had a lower resting heart rate (78.08 ± 4.84 vs 82.00 ± 5.16 beats/min; p = 0.008), longer 6MWD (557.92 ± 33.66 vs 529.96 ± 34.40 m; p = 0.006), and greater one-minute HRR (39.04 ± 7.52 vs 31.00 ± 6.51 beats/min; p < 0.001) than inactive participants. Perceived exertion and fatigue did not differ significantly between groups. Physical activity score was correlated with resting heart rate (r_s = −0.44), 6MWD (r_s = 0.45), and HRR (r_s = 0.46; all adjusted p = 0.008). After adjustment for age, sex, and body mass index, a 10-fold higher physical activity score was associated with a 34.52-m longer 6MWD and a 7.86-beat/min greater HRR (both p < 0.001). Higher physical activity levels were associated with better functional walking performance and greater one-minute HRR. These outcomes may provide complementary information about exercise-related function in healthy young adults. However, the cross-sectional design precludes causal inference, and longitudinal studies are needed to establish the direction of these associations.

Keywords: Physical activity, heart rate recovery, six-minute walk test, functional exercise capacity, perceived exertion

INTRODUCTION

Regular physical activity contributes to cardiovascular health, autonomic regulation, functional exercise capacity, and perceived well-being (Bull et al., 2020). Conversely, physical inactivity may be associated with a higher resting heart rate, poorer exercise tolerance, and slower post-exercise heart rate recovery, even in young and middle-aged adults without established

cardiovascular disease (Chiang et al., 2024). These alterations may be detectable even in individuals without clinically apparent cardiovascular disease (Liu et al., 2024). Therefore, the combined assessment of habitual physical activity and exercise-related physiological responses may help identify early differences in cardiovascular and functional health among otherwise healthy individuals (da Fonseca et al., 2024).

Resting heart rate and post-exercise heart rate recovery (HRR) provide complementary information about cardiovascular autonomic regulation (Chiang et al., 2024). HRR, commonly calculated as the reduction from the peak heart rate achieved during exercise to the heart rate measured at a specified point during recovery, is influenced predominantly by parasympathetic reactivation and sympathetic withdrawal (Cozgarea et al., 2024). Regular physical activity has been associated with faster HRR, supporting the potential role of habitual activity in maintaining favorable autonomic function (Liu et al., 2024). Nevertheless, HRR should not be regarded as an interchangeable measure of cardiorespiratory fitness, particularly in young adults, because it is affected by exercise intensity, recovery conditions, baseline autonomic tone, and individual physiological characteristics (Thomas et al., 2022). Therefore, evaluating HRR alongside resting heart rate, habitual physical activity, and functional exercise capacity may provide a more comprehensive representation of exercise-related cardiovascular function.

The six-minute walk test (6MWT) is a practical measure of submaximal functional exercise capacity that integrates cardiovascular, respiratory, and musculoskeletal responses during walking (Holland et al., 2014). Although it is used predominantly in clinical populations, variation in six-minute walk distance may also reflect differences in habitual physical activity and physical fitness among healthy individuals (Sa-nguanmoo et al., 2024). Objective exercise responses should also be interpreted alongside perceived exertion and fatigue. Perceived exertion provides a subjective estimate of exercise intensity, whereas the Fatigue Severity Scale provides a broader participant-reported assessment of perceived fatigue (Grummt et al., 2024). Although perceived exertion and fatigue represent related subjective experiences, they are not equivalent constructs. Examining both alongside habitual physical activity, walking capacity, and HRR may therefore provide a broader understanding of exercise-related function in healthy young adults.

Recent studies have examined the relationships of physical activity with HRR and functional walking capacity, while fatigue has largely been investigated as a separate participant-reported construct (Liu et al., 2024; Ruotolo et al., 2025; Sa-nguanmoo et al., 2024). However, evidence regarding the interrelationships among these variables within the same sample of healthy young adults with different habitual physical activity levels remains limited. Therefore, this study aimed to compare resting physiological characteristics, six-minute walk performance, perceived exertion, HRR, and fatigue between physically active and inactive young adults. We also examined the relationships among physical activity level, resting heart rate, six-minute walk distance, perceived exertion, HRR, and fatigue. In addition, we investigated whether physical activity level remained associated with six-minute walk distance and HRR after adjustment for age, sex, and body mass index. We hypothesized that active participants would have a lower resting heart rate, longer six-minute walk distance, lower perceived exertion and fatigue, and faster HRR than inactive participants. We further hypothesized that higher physical activity levels would be associated with greater walking distance and faster HRR, independent of relevant demographic and anthropometric factors.

MATERIALS & METHODS

Study design and setting

The observational cross-sectional study took place at the Department of Physiotherapy and

Rehabilitation, Faculty of Health Sciences, Bolu Abant Izzet Baysal University, Turkey. The collection of data happened in the period between July 2025 and May 2026. This study was done under the guidelines of the Declaration of Helsinki. Ethics approval was obtained from the Bolu Abant Izzet Baysal University Non-Interventional Clinical Research Ethics Committee (Decision No: 2025/235, Date:03.06.2025). Prior to participation, all study participants were briefed about the study protocol in both oral and written form, and informed consent was taken.

Participants

Healthy adults aged 18-35 years were recruited on a voluntary basis. Individuals were eligible if they were able to communicate in Turkish and had no known health condition that contraindicated exercise. The exclusion criteria were limb amputation, acute or chronic neurological disease, vestibular dysfunction, uncorrected visual impairment, an orthopedic disorder or other condition affecting balance or walking, myocardial infarction or stroke within the previous year, use of an assistive mobility device, or inability to understand or follow the test procedures.

Participants who had a resting peripheral oxygen saturation (SpO_2) of less than 85%, heart rate greater than 120 beats/minute, systolic blood pressure above 180 mmHg, or diastolic pressure exceeding 100 mmHg were excluded from exercising. All assessments were conducted under the supervision of an experienced physiotherapist. Testing was terminated immediately if a participant developed excessive fatigue, dizziness, dyspnea, chest pain, syncope, loss of coordination, mental confusion, or any other clinically concerning sign or symptom.

Sample-size calculation

The target sample size was set at 50 participants, with 25 participants in each physical activity group, based on the feasibility of recruitment and completion of the study procedures. A sensitivity power analysis was conducted using G*Power 3.1 for a two-tailed independent-samples t-test. With 25 participants per group, a significance level of 0.05, and 80% power, the minimum detectable effect size was Cohen's d = 0.81. Thus, the sample size allowed detection of large between-group differences in one-minute heart rate recovery.

Demographic and resting measurements

Age, sex, height, body weight, and habitual exercise characteristics, including exercise participation, frequency, and duration, were recorded using a standardized data-collection form. Measures of height were acquired without footwear and using a stadiometer, while the weight was determined wearing light clothing and without shoes using a digital scale that has been accurately calibrated. The BMI was established by dividing the weight in kilograms by the total height measured in meters squared (kg/m^2).

Before exercise testing, participants rested in a seated position for at least 10 minutes. Resting heart rate, peripheral oxygen saturation (SpO_2), systolic blood pressure, and diastolic blood pressure were then recorded. Blood pressure was measured at heart level using an automated upper-arm sphygmomanometer with an appropriately sized cuff (Omron M3 Comfort, HEM-7155-E; Omron Healthcare Co., Ltd., Kyoto, Japan). Resting heart rate and SpO_2 were measured using a pulse oximeter (EDAN H100B; EDAN Instruments, Inc., Shenzhen, China). Blood pressure measurement procedures followed current recommendations for standardized office blood pressure assessment (Mancia et al., 2023).

Physical activity assessment

The Turkish version of the International Physical Activity Questionnaire–Short Form (IPAQ-SF) was used (Saglam et al., 2010). The IPAQ-SF assesses the frequency and duration of vigorous-intensity activity, moderate-intensity activity, and walking, as well as time spent

sitting, over the previous seven days. The collected activity data was analyzed based on the IPAQ scoring method. MET-min/week unit was utilized to evaluate the weekly MET expenditure of each participant, with the following MET coefficients: 8.0 for vigorous-intensity activity, 4.0 for moderate-intensity activity, and 3.3 for walking. The time spent sitting was recorded; however, it was not considered in the process of determining the physical activity score (Craig et al., 2003).

Participants were classified as having low, moderate, or high physical activity according to the IPAQ scoring criteria. Participants classified in the low physical activity category were assigned to the inactive group, whereas those classified in the moderate or high categories were assigned to the active group. Because group membership was determined directly from the IPAQ classification, between-group inferential comparisons of IPAQ total scores or physical activity categories were not performed. Nevertheless, the continuous IPAQ total score was used in analyses examining associations between physical activity level and the study outcomes.

Six-minute walk test

Functional exercise capacity was evaluated by means of the 6-min walking test (6MWT) according to the principles developed by the American Thoracic Society (ATS Committee on Proficiency Standards for Clinical Pulmonary Function Laboratories, 2002). The test was conducted along a flat, straight 30-m course. Participants were instructed to walk as far as possible in six minutes without running and were permitted to slow down, stop, or rest if necessary. Standardized instructions and encouragement were provided during the test.

The total distance walked was recorded in meters as the six-minute walk distance (6MWD). Heart rate and SpO_2 were measured immediately after the test using a pulse oximeter. Perceived exertion was assessed immediately after the test using the 6–20 Borg Rating of Perceived Exertion scale, with higher scores indicating greater perceived exertion (Cabral et al., 2020). All tests were supervised by trained personnel, and participants were continuously observed for adverse signs or symptoms.

Treadmill exercise and heart rate recovery

Participants completed a standardized moderate-intensity treadmill exercise protocol based on heart rate reserve. The maximum heart rate predicted from age was calculated as 220 minus age, while the target heart rate was determined based on the heart rate reserve as follows:

Target heart rate = [(age-predicted maximum heart rate - resting heart rate) × prescribed exercise intensity] + resting heart rate.

The prescribed exercise intensity corresponded to 40–59% of heart rate reserve, consistent with moderate-intensity exercise (Riebe et al., 2018). The protocol consisted of a 5-min warm-up followed by 15 min of moderate-intensity treadmill exercise. Heart rate was continuously monitored using a Polar H10 heart rate sensor (Polar Electro Oy, Kempele, Finland).

The highest heart rate recorded during the 15-min exercise period was defined as the peak treadmill heart rate. Immediately after completion of the exercise period, participants underwent 1 min of seated passive recovery, during which no cool-down activity was performed. One-minute heart rate recovery (HRR_1) was calculated as:

HRR_1 = peak treadmill heart rate - heart rate measured 1 min after exercise cessation (Thomas et al., 2022).

Higher HRR_1 values indicated a greater reduction in heart rate during the first minute of recovery. After the 1-min recovery measurement had been completed, participants performed a 5-min low-intensity cool-down.

Fatigue assessment

The Turkish version of the Fatigue Severity Scale (FSS) was used to determine fatigue levels

(Gencay-Can & Can, 2012). The FSS contains nine statements, and each response is given a score of 1 (strongly disagree) to 7 (strongly agree). After scoring, the average score for all nine items was calculated. The higher the fatigue score, the more the participants felt that fatigue was affecting their day-to-day functions.

Statistical analysis

The mean ± standard deviation or median [interquartile range] was used to summarize continuous variables as required while categorical variables were summarized as the number and percentage. The Shapiro-Wilk test was used to check the distribution of the data along with graphical methods. The variables which were nearly normally distributed were compared using Welch's independent-samples t-test, whereas the Mann-Whitney U test was applied in the case of variables of a non-normal distribution. Fisher's exact test was used for categorical variables. IPAQ scores and categories were presented descriptively but were not compared inferentially because group membership was defined using IPAQ classifications.

Effect sizes were reported with 95% confidence intervals using Cohen's d for continuous variables compared with Welch's t-test, rank-biserial correlation for Mann–Whitney U tests, and Cramér's V for categorical variables. Effect sizes were calculated as inactive minus active; positive values therefore indicated higher values or ranks in the inactive group.

Associations among IPAQ total score, resting heart rate, six-minute walk distance, post-6MWT Borg RPE score, one-minute HRR, and FSS mean score were examined using Spearman's rank correlation. P values in the principal correlation matrix were adjusted using the Benjamini–Hochberg false discovery rate procedure. Exploratory correlations between IPAQ total score and exercise-related outcomes were also examined separately within each physical activity group, with percentile bootstrap 95% confidence intervals based on 5,000 resamples. Since these subgroup analyses were exploratory, no adjustments were made for the p values.

Separate multivariable linear regression models were constructed for six-minute walk distance and one-minute HRR. The $\log_{10}$-transformed IPAQ total score was entered as the principal explanatory variable, with age, sex, and body mass index included as covariates. Female sex was the reference category. Regression assumptions were evaluated using residual-versus-fitted and Q–Q plots, the Breusch–Pagan test, variance inflation factors, and influence diagnostics based on Cook's distance, leverage, and externally studentized residuals. Leave-one-out sensitivity analyses were conducted to assess whether potentially influential observations materially affected the principal IPAQ coefficients. Results were reported as unstandardized coefficients, 95% confidence intervals, standardized beta coefficients for continuous predictors, and p values. All tests were two-tailed with $p < 0.05$ considered significant. The analyses were carried out using R version 4.5.3 (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria).

RESULTS

Participant characteristics

A total of 58 individuals were assessed for eligibility. Eight were excluded because they did not meet the eligibility criteria (n = 3), declined participation (n = 2), did not meet the resting safety criteria (n = 1), or had incomplete assessments (n = 2). The final analysis included 50 participants, comprising 25 inactive and 25 active individuals (Fig. 1).

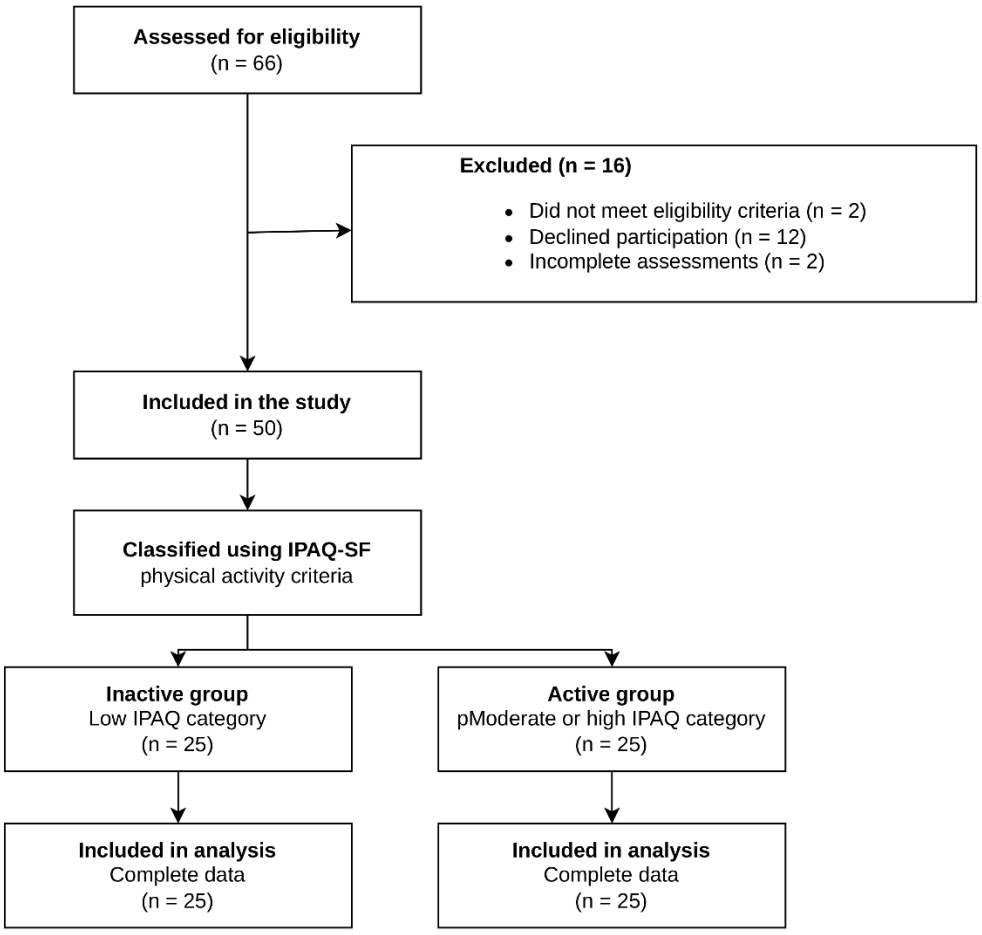


Fig. 1. Flow diagram of participant recruitment, eligibility assessment, physical activity classification, and inclusion in the analyses. IPAQ-SF, International Physical Activity Questionnaire–Short Form.

The groups were comparable in age, sex distribution, height, body weight, and body mass index (all $p > 0.05$). Resting heart rate was higher in the inactive group than in the active group (82.00 ± 5.16 vs 78.08 ± 4.84 beats/min; Cohen's d = 0.78, 95% CI 0.20 to 1.36; p = 0.008). No statistically significant between-group differences were observed in resting SpO_2, systolic blood pressure, or diastolic blood pressure, although diastolic blood pressure tended to be higher in the inactive group (p = 0.071; Table 1).

Table 1. Baseline demographic and resting physiological characteristics of the participants according to physical activity group

Variable	Inactive (n = 25)	Active (n = 25)	Effect size (95% CI)	p-value
Age (years), mean ± SD	21.52 ± 1.26	21.56 ± 1.45	-0.03 (-0.58 to 0.53)	0.917
Sex, n (%)			**0.13 (0.00 to 0.40)**	**0.551**†
Female	15 (60.0)	18 (72.0)		
Male	10 (40.0)	7 (28.0)		
Height (cm), mean ± SD	169.60 ± 11.02	168.60 ± 9.04	0.10 (-0.46 to 0.65)	0.727
Weight (kg), mean ± SD	64.81 ± 12.83	64.03 ± 14.46	0.06 (-0.50 to 0.61)	0.840
Body mass index (kg/m^2), mean ± SD	22.36 ± 2.58	22.28 ± 3.26	0.03 (-0.53 to 0.58)	0.921
Resting heart rate (bpm), mean ± SD	82.00 ± 5.16	78.08 ± 4.84	0.78 (0.20 to 1.36)	0.008
Resting SpO_2 (%), mean ± SD	97.68 ± 0.95	97.84 ± 1.03	-0.16 (-0.72 to 0.39)	0.569
Resting systolic blood pressure (mmHg), mean ± SD	113.16 ± 4.67	111.04 ± 4.38	0.47 (-0.10 to 1.03)	0.104

Variable	Inactive (n = 25)	Active (n = 25)	Effect size (95% CI)	p-value
Resting diastolic blood pressure (mmHg), mean ± SD	72.60 ± 4.23	70.48 ± 3.87	0.52 (-0.04 to 1.08)	0.071

Data are presented as mean ± standard deviation (SD) or number (%), as appropriate. Continuous variables were compared using Welch's independent-samples t-test, and sex distribution was compared using Fisher's exact test (†). Effect sizes are reported with 95% confidence intervals as Cohen's d for continuous variables and unadjusted Cramer's V for sex. Cohen's d was calculated as Inactive minus Active; positive values indicate higher values in the inactive group. All tests were two-sided, and statistical significance was set at $p < 0.05$. CI, confidence interval; SpO_2, peripheral oxygen saturation.

Physical activity and exercise-related outcomes

By definition, all participants in the inactive group met the low IPAQ activity criteria, whereas 7 participants (28.0%) in the active group met the minimal activity criteria and 18 (72.0%) met the health-enhancing physical activity criteria. The median IPAQ total score was 429 MET-min/week [IQR 297–525] in the inactive group and 4,050 MET-min/week [IQR 2,890–5,360] in the active group. Because the groups were defined according to IPAQ classifications, these values were not compared inferentially.

Active participants achieved a longer six-minute walk distance than inactive participants (557.92 ± 33.66 vs 529.96 ± 34.40 m; Cohen's d = −0.82, 95% CI −1.40 to −0.24; p = 0.006; Table 2 and Fig. 2A). One-minute HRR was also greater in the active group (39.04 ± 7.52 vs 31.00 ± 6.51 beats/min; Cohen's d = −1.14, 95% CI −1.74 to −0.54; p < 0.001).

Table 2. Comparison of physical activity, functional exercise capacity, perceived exertion, and treadmill responses between inactive and active participants

Variable	Inactive (n = 25)	Active (n = 25)	Test statistic	Effect size (95% CI)	p-value
IPAQ total (MET-min/week)	429.00 [297.00 to 525.00]	4050.00 [2890.00 to 5360.00]	-	-	-
IPAQ category, n (%)			-	-	-
Inactive	25 (100.0)	0 (0.0)			
Minimal	0 (0.0)	7 (28.0)			
HEPA	0 (0.0)	18 (72.0)			
Six-minute walk distance (m)	529.96 ± 34.40	557.92 ± 33.66	t(48.0) = -2.90	-0.82 (-1.40 to -0.24)	0.006*
Post-six-minute walk heart rate (bpm)	130.08 ± 5.54	126.68 ± 7.26	t(44.9) = 1.86	0.53 (-0.04 to 1.09)	0.069*
Post-six-minute walk SpO_2 (%)	98.00 [97.00 to 98.00]	98.00 [98.00 to 98.00]	U = 263.0	-0.16 (-0.45 to 0.16)	0.279‡
Borg perceived exertion score	8.00 [8.00 to 9.00]	7.00 [7.00 to 9.00]	U = 403.0	0.29 (-0.03 to 0.55)	0.068‡
Peak treadmill heart rate (bpm)	174.08 ± 10.66	174.92 ± 10.41	t(48.0) = -0.28	-0.08 (-0.63 to 0.48)	0.779*
One-minute heart rate recovery (bpm)	31.00 ± 6.51	39.04 ± 7.52	t(47.0) = -4.04	-1.14 (-1.74 to -0.54)	<0.001*
Fatigue Severity Scale score	2.73 ± 0.52	2.48 ± 0.49	t(47.8) = 1.73	0.49 (-0.08 to 1.05)	0.090*

Data are presented as mean ± standard deviation (SD), median [interquartile range (IQR)], or number (%), as appropriate. Between-group comparisons were performed using Welch's independent-samples t-test (*) or the Mann–Whitney U test (‡), as appropriate. Effect sizes are

presented with 95% confidence intervals (CIs) as Cohen's d for Welch's t-tests and rank-biserial r for Mann–Whitney U tests. Effect sizes were calculated as Inactive minus Active; positive values indicate higher values or ranks in the inactive group. IPAQ variables were not inferentially compared because physical activity groups were defined using IPAQ classifications. All tests were two-sided, with $p < 0.05$ considered statistically significant. CI, confidence interval; HEPA, health-enhancing physical activity; HRR, heart rate recovery; IPAQ, International Physical Activity Questionnaire; MET, metabolic equivalent of task; SpO_2, peripheral oxygen saturation.

Post-6MWT heart rate was lower in active participants, but the difference did not reach statistical significance (126.68 ± 7.26 vs 130.08 ± 5.54 beats/min; p = 0.069). Similarly, the active group reported a numerically lower Borg perceived exertion score, although this difference was not statistically significant (median 7 [IQR 7–9] vs 8 [IQR 8–9]; rank-biserial r = 0.29, 95% CI -0.03 to 0.55; p = 0.068). The groups did not differ significantly in post-6MWT SpO_2 (p = 0.279) or peak treadmill heart rate (p = 0.779).

Fatigue Severity Scale scores were numerically lower among active participants, but the between-group difference was not statistically significant (2.48 ± 0.49 vs 2.73 ± 0.52; Cohen's d = 0.49, 95% CI -0.08 to 1.05; p = 0.090).

Correlations among physical activity and exercise-related variables

The correlation matrix is presented in Table 3. After Benjamini–Hochberg false discovery rate adjustment, IPAQ total score was negatively correlated with resting heart rate (r_s = -0.44; adjusted p = 0.008) and positively correlated with six-minute walk distance (r_s = 0.45; adjusted p = 0.008; Fig. 2B) and one-minute HRR (r_s = 0.46; adjusted p = 0.008).

Table 3. Spearman correlation analysis among resting heart rate, physical activity, functional exercise capacity, perceived exertion, heart rate recovery, and fatigue

Variable	1	2	3	4	5	6
1. Resting heart rate	-					
2. IPAQ total (MET-min/week)	-0.44 (0.008)	-				
3. Six-minute walk distance (m)	-0.16 (0.278)	0.45 (0.008)	-			
4. Borg perceived exertion score	0.21 (0.219)	-0.20 (0.219)	-0.37 (0.029)	-		
5. One-minute heart rate recovery	-0.17 (0.275)	0.46 (0.008)	0.26 (0.147)	-0.26 (0.147)	-	
6. Fatigue Severity Scale score	0.04 (0.766)	-0.24 (0.182)	-0.21 (0.219)	0.35 (0.041)	-0.19 (0.241)	-

Values are presented as Spearman rank correlation coefficients (r_s), with Benjamini-Hochberg false discovery rate-adjusted p-values in parentheses. All tests were two-sided, with an adjusted $p < 0.05$ considered statistically significant. HRR, heart rate recovery; IPAQ, International Physical Activity Questionnaire; MET, metabolic equivalent of task.

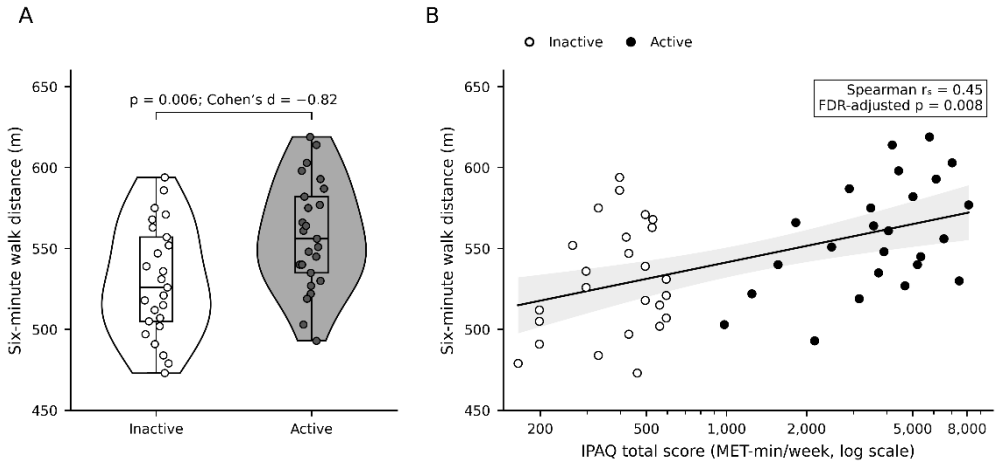


Fig. 2. Six-minute walk distance according to physical activity level. (A) Distribution of six-minute walk distance in inactive and active participants. Violin plots show the distributions, boxes indicate medians and interquartile ranges, and circles represent individual participants. (B) Association between IPAQ total score and six-minute walk distance. The line and shaded area indicate the fitted trend and 95% confidence interval. IPAQ scores are displayed on a logarithmic scale. The reported p value was adjusted using the Benjamini–Hochberg false discovery rate procedure. IPAQ, International Physical Activity Questionnaire; MET, metabolic equivalent of task.

Six-minute walk distance was negatively correlated with the Borg perceived exertion score (r_s = -0.37; adjusted p = 0.029), indicating that participants who walked farther generally reported lower perceived exertion. Borg scores were positively correlated with FSS scores (r_s = 0.35; adjusted p = 0.041). The remaining correlations, including those of FSS with IPAQ total score, six-minute walk distance, and HRR, were not statistically significant after false discovery rate adjustment.

Multivariable analysis of six-minute walk distance

The multivariable model examining six-minute walk distance was statistically significant, F(4, 45) = 5.46, p = 0.001, and explained 32.7% of the variance in walking distance (adjusted R^2 = 0.267; Table 4).

Table 4. Multivariable linear regression analysis of six-minute walk distance

Predictor	B	95% CI for B	Standardized beta	p value
IPAQ total score (per 10-fold increase)	34.52	17.78 to 51.27	0.51	<0.001
Age (years)	2.39	-4.63 to 9.40	0.09	0.497
Sex (male vs female)	22.42	1.63 to 43.20	-	0.035
Body mass index (kg/m^2)	-2.30	-5.85 to 1.26	-0.18	0.199

Model summary: n = 50; R^2 = 0.327; adjusted R^2 = 0.267; F(4, 45) = 5.46; p = 0.001. B values are unstandardized regression coefficients. The IPAQ total score was $\log_{10}$-transformed because of its right-skewed distribution; therefore, its B coefficient represents the expected difference in six-minute walk distance associated with a 10-fold increase in IPAQ total score. Standardized beta coefficients are reported only for continuous predictors; therefore, no standardized coefficient is presented for sex. Female sex was the reference category. CI, confidence interval; IPAQ, International Physical Activity Questionnaire.

After adjustment for age, sex, and body mass index, $\log_{10}$-transformed IPAQ total score remained independently associated with six-minute walk distance. A 10-fold increase in IPAQ

total score was associated with a 34.52-m greater walking distance (B = 34.52, 95% CI 17.78 to 51.27; standardized β = 0.51; p < 0.001). Male sex was also independently associated with a greater walking distance compared with female sex (B = 22.42 m, 95% CI 1.63 to 43.20; p = 0.035). Age and body mass index were not independently associated with six-minute walk distance.

Multivariable analysis of heart rate recovery

The multivariable model for one-minute HRR was statistically significant, F(4, 45) = 5.65, p < 0.001, explaining 33.4% of the variance in HRR (adjusted R^2 = 0.275; Table 5).

Table 5. Multivariable linear regression analysis of one-minute heart rate recovery

Predictor	B	95% CI for B	Standardized beta	p value
IPAQ total score (per 10-fold increase)	7.86	4.18 to 11.53	0.52	<0.001
Age (years)	-0.53	-2.07 to 1.01	-0.09	0.489
Sex (male vs female)	-0.39	-4.95 to 4.17	-	0.865
Body mass index (kg/m^2)	0.71	-0.07 to 1.49	0.26	0.074

Model summary: n = 50; R^2 = 0.334; adjusted R^2 = 0.275; F(4, 45) = 5.65; p < 0.001. One-minute heart rate recovery was calculated as peak treadmill heart rate minus heart rate measured one minute after exercise. Higher HRR values indicate faster heart rate recovery. B values are unstandardized regression coefficients. The IPAQ total score was $\log_{10}$-transformed because of its right-skewed distribution; therefore, its B coefficient represents the expected difference in HRR associated with a 10-fold increase in IPAQ total score. Standardized beta coefficients are reported only for continuous predictors; therefore, no standardized coefficient is presented for sex. Female sex was the reference category. CI, confidence interval; HRR, heart rate recovery; IPAQ, International Physical Activity Questionnaire.

After adjustment for age, sex, and body mass index, the $\log_{10}$-transformed IPAQ total score was independently associated with HRR. A 10-fold increase in IPAQ total score was associated with a 7.86-beat/min greater HRR (B = 7.86, 95% CI 4.18 to 11.53; standardized β = 0.52; p < 0.001). Age, sex, and body mass index were not statistically significant correlates of HRR (all p > 0.05). Diagnostic analyses indicated no material violations of linearity, residual normality, homoscedasticity, or multicollinearity. Although some observations exceeded the Cook's distance screening threshold of 4/n, none had a Cook's distance of 1 or greater or an absolute externally studentized residual of 3 or greater. Leave-one-out sensitivity analyses did not materially alter the magnitude or statistical significance of the principal IPAQ coefficients.

Exploratory within-group correlations

Exploratory within-group analyses are presented in Table 6. Among active participants, IPAQ total score was positively correlated with six-minute walk distance (r_s = 0.44, bootstrap 95% CI 0.04 to 0.72; unadjusted p = 0.028) and one-minute HRR (r_s = 0.47, bootstrap 95% CI 0.09 to 0.74; unadjusted p = 0.018). These associations were not observed in the inactive group.

Table 6. Exploratory within-group correlations between IPAQ total score and exercise-related outcomes

	Inactive participants				Active participants			
Outcome	n	Spearman r	95% CI	p value	n	Spearman r	95% CI	p value
Six-minute walk distance (m)	25	0.14	-0.27 to 0.49	0.514	25	0.44	0.04 to 0.72	0.028
One-minute heart rate recovery (beats/min)	25	-0.29	-0.63 to 0.15	0.167	25	0.47	0.09 to 0.74	0.018
Post-six-minute walk Borg score	25	0.40	0.03 to 0.67	0.047	25	-0.27	-0.64 to 0.17	0.189

Outcome	Inactive participants				Active participants			
	n	Spearman r	95% CI	p value	n	Spearman r	95% CI	p value
Fatigue Severity Scale mean score	25	-0.10	-0.49 to 0.33	0.651	25	0.03	-0.42 to 0.48	0.872

Values are Spearman rank correlation coefficients with bootstrap 95% confidence intervals based on 5000 resamples. Analyses were conducted separately in inactive and active participants and should be considered exploratory because of the limited subgroup sample sizes. All p values are two-sided and unadjusted for multiple comparisons. HRR, heart rate recovery; IPAQ, International Physical Activity Questionnaire. In inactive participants, IPAQ total score was positively correlated with post-6MWT Borg score (r_s = 0.40, bootstrap 95% CI 0.03 to 0.67; unadjusted p = 0.047), whereas no corresponding association was observed in active participants. IPAQ total score was not associated with FSS score in either group. Given the limited subgroup sample sizes and the absence of adjustment for multiple comparisons, these findings were considered exploratory.

DISCUSSION

The principal findings were that physically active young adults had a lower resting heart rate, a longer six-minute walk distance, and greater one-minute heart rate recovery than inactive participants. Higher physical activity levels were moderately associated with a lower resting heart rate, a longer walking distance, and greater HRR. Furthermore, the log-transformed IPAQ total score remained associated with both six-minute walk distance and HRR after adjustment for age, sex, and body mass index. In contrast, no significant between-group differences were observed in post-6MWT heart rate, perceived exertion, peak treadmill heart rate, or fatigue severity. Thus, the hypotheses concerning resting heart rate, functional exercise capacity, and HRR were supported, whereas those concerning perceived exertion and fatigue were not.

The lower resting heart rate and greater HRR observed in active participants indicate a more favorable exercise-related cardiovascular recovery profile. Early HRR reflects post-exercise cardiac autonomic regulation, particularly parasympathetic reactivation, although it is also affected by the exercise and recovery protocol (Thomas et al., 2022). In the present study, peak treadmill heart rate was similar between the groups. However, HRR_1 was approximately 8 beats/min greater in active participants, indicating that the between-group difference was more evident during early recovery than at peak exercise. This finding is consistent with that of Yadav and Kukreti (2022), who reported faster post-exercise heart rate recovery in physically active than in sedentary adults aged 18–24 years. Recent population-based evidence also supports this relationship. Similar findings were reported by Fan et al. (2020), who found that young university students performing less than 3 h of exercise per week had slower post-exercise heart rate recovery than their more active peers. However, HRR was evaluated at 3 min in that study, whereas the present study assessed recovery during the first minute. Intervention evidence provides further support. Jaafar and Lim (2023) reported an approximately 4-beat/min improvement in HRR_1 following a 12-week moderate-intensity aerobic exercise program in sedentary adults. Nevertheless, direct comparisons of effect magnitude are limited by differences in exercise modality, exercise intensity, recovery conditions, HRR measurement time, and physical activity classification. Moreover, because cardiac autonomic activity was not measured directly in the present study, the greater HRR observed in active participants should be regarded as compatible with, rather than definitive evidence of, more favorable autonomic recovery.

The association between physical activity level and functional walking capacity was another

central finding. Active participants walked approximately 28 m farther during the 6MWT, corresponding to a moderate-to-large, standardized group difference. The 6MWT reflects the integrated responses of cardiovascular, respiratory, and musculoskeletal systems during submaximal walking. A recent systematic review found strong evidence supporting the validity of the 6MWT as a field-based measure of cardiorespiratory fitness in adults without known disease (Castro-Piñero et al., 2021). Our findings are also consistent with those of Sa-nguanmoo et al. (2024). In their study of young adults aged 18-25 years, physically active participants achieved a longer 6MWD than their inactive counterparts. Although that study included only individuals with obesity, the direction of the difference supports an association between physical activity level and functional walking performance in young adults. Sa-nguanmoo et al. (2024) also found no between-group difference in post-6MWT SpO_2, which is consistent with the present results. The preserved SpO_2 values in both groups suggest that oxygen desaturation was unlikely to be a major factor underlying the observed difference in walking distance. Nevertheless, because cardiorespiratory fitness and muscle function were not measured directly, the physiological mechanisms responsible for the longer 6MWD cannot be determined from the present data.

The association between physical activity level and walking distance remained significant after adjustment for age, sex, and body mass index. Because IPAQ total score was $\log_{10}$-transformed, the regression coefficient indicated that a 10-fold higher IPAQ score was associated with an estimated 34.52-m longer 6MWD. This finding is consistent with population-based evidence showing that physical activity contributes to variation in 6MWD among healthy adults (Cazzoletti et al., 2022). Male participants also walked farther than female participants after adjustment for the other model variables. Cazzoletti et al. (2022) similarly reported a greater mean 6MWD in healthy men than in healthy women. Differences in height, muscle mass, muscle strength, body composition, and aerobic capacity may contribute to this pattern. However, these characteristics were not measured comprehensively in the present study, and body mass index alone does not distinguish lean mass from fat mass. Age and body mass index were not significantly associated with 6MWD, possibly because the sample had a restricted age range and relatively homogeneous anthropometric characteristics. Finally, the cross-sectional design precludes causal interpretation. Greater physical activity may contribute to better walking capacity, but individuals with better functional capacity may also be more likely to engage in physical activity.

Physical activity level was also associated with HRR in the adjusted model. Because IPAQ total score was $\log_{10}$-transformed, a 10-fold higher IPAQ score was associated with an estimated 7.86-beat/min greater HRR_1 after adjustment for age, sex, and body mass index. This finding is consistent with accelerometer-based evidence showing differences in post-exercise heart rate recovery according to physical activity patterns (Del Rosso et al., 2022). However, Del Rosso et al. (2022) assessed HRR following submaximal cycling with active recovery and included an older sample. Therefore, direct comparison with the present HRR_1 estimates is limited. Taken together, the findings indicate that physical activity level was associated with both functional walking performance and early post-exercise heart rate recovery. However, these outcomes represent different components of the exercise response. HRR reflects post-exercise cardiac autonomic regulation and is influenced by the balance between parasympathetic reactivation and persistent sympathetic activity (Boyes et al., 2023). In contrast, 6MWD represents performance during a submaximal functional walking task. Therefore, although both outcomes were associated with physical activity level, they should not be interpreted as interchangeable measures.

The findings concerning perceived exertion and fatigue were less pronounced. Active participants had numerically lower post-walk Borg and FSS scores, but neither difference was statistically significant. Similarly, IPAQ total score was not significantly associated with FSS score after correction for multiple comparisons. The low and relatively restricted distribution of fatigue scores in this healthy sample may have reduced the ability to detect such associations. Our findings differ from those of Güneş and Demirer (2023), who reported a statistically significant but very weak inverse correlation between IPAQ-SF physical activity and FSS scores in university students. The small magnitude of their correlation ($r = -0.096$) suggests that substantially larger samples may be required to detect this relationship. Differences in sample size and fatigue distribution may also explain the inconsistent findings. Borg RPE and FSS assess related but distinct constructs. Borg RPE reflects the effort perceived during or immediately after a specific exercise task (Hill, 2023). In contrast, the FSS assesses the broader severity and functional impact of fatigue in daily life. Therefore, these measures would not necessarily demonstrate identical relationships with physical activity. In the present study, longer six-minute walk distance was associated with lower Borg scores. This finding suggests that participants with better walking performance perceived less exertion during the test. The modest positive correlation between Borg and FSS scores indicates limited overlap between immediate exertional perception and general fatigue, rather than equivalence between these constructs.

A strength of this study was the simultaneous assessment of physical activity, functional walking capacity, heart rate recovery, perceived exertion, and fatigue within the same sample. Reporting effect sizes with confidence intervals complemented the significance tests, while false discovery rate adjustment reduced the risk of false-positive findings in the principal correlation analysis. In addition, the associations of physical activity with six-minute walk distance and HRR remained significant after adjustment for age, sex, and body mass index.

Many limitations need to be pointed out. The cross-sectional design does not allow for causal inferences to be made, and the assessment of physical activity was done through self-reports, which might have methodological problems of recall bias and social desirability bias. The small, relatively homogeneous, single-center sample of healthy young adults also limits generalizability. Furthermore, using IPAQ both to define the activity groups and as a continuous predictor may have contributed to the associations observed in the full sample. HRR findings are specific to the submaximal treadmill and recovery protocol because HRR is influenced by exercise intensity and recovery conditions. Direct measures of cardiorespiratory fitness and autonomic regulation, such as maximal oxygen uptake and heart rate variability, were not obtained. Potential confounders, including smoking, caffeine intake, sleep, psychological stress, and recent exercise, were not included in the adjusted models. Finally, the subgroup analyses were exploratory and had limited statistical power because each group contained only 25 participants.

Future prospective studies should confirm these findings using larger samples, objective physical activity monitoring, direct measurement of cardiorespiratory fitness, and standardized heart rate recovery protocols.

CONCLUSIONS

Physically active young adults had a lower resting heart rate, longer six-minute walk distance, and faster one-minute heart rate recovery than inactive participants. Physical activity level remained associated with walking distance and HRR after adjustment for age, sex, and body mass index, whereas perceived exertion and fatigue did not differ between the groups. These findings suggest that 6MWT performance and HRR provide complementary information about

exercise-related function in healthy young adults. Longitudinal studies are needed to determine the direction and causality of these associations.

Funding

This study was supported by the Scientific Research Projects Coordination Unit of Bolu Abant Izzet Baysal University University (Project No. 2025-ÖĞP-005).

REFERENCES

J ATS Committee on Proficiency Standards for Clinical Pulmonary Function Laboratories. (2002). ATS statement: Guidelines for the six-minute walk test. American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine, 166(1), 111–117. https://doi.org/10.1164/ajrccm.166.1.at1102

Boyes, N. G., Mannozzi, J., Rapin, N., Alvarez, A., Al-Hassan, M.-H., Lessanework, B., Lahti, D. S., Olver, T. D., O'Leary, D. S., & Tomczak, C. R. (2023). Augmented sympathoexcitation slows postexercise heart rate recovery. Journal of Applied Physiology, 135(6), 1300–1311. https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00549.2023

Bull, F. C., Al-Ansari, S. S., Biddle, S., Borodulin, K., Buman, M. P., Cardon, G., Carty, C., Chaput, J.-P., Chastin, S., Chou, R., Dempsey, P. C., DiPietro, L., Ekelund, U., Firth, J., Friedenreich, C. M., Garcia, L., Gichu, M., Jago, R., Katzmarzyk, P. T., . . . Willumsen, J. F. (2020). World Health Organization 2020 guidelines on physical activity and sedentary behaviour. British Journal of Sports Medicine, 54(24), 1451–1462. https://doi.org/10.1136/bjsports-2020-102955

Cabral, L. L., Nakamura, F. Y., Stefanello, J. M. F., Pessoa, L. C. V., Smirmaul, B. P. C., & Pereira, G. (2020). Initial validity and reliability of the Portuguese Borg rating of perceived exertion 6–20 scale. Measurement in Physical Education and Exercise Science, 24(2), 103–114. https://doi.org/10.1080/1091367X.2019.1710709

Castro-Piñero, J., Marin-Jimenez, N., Fernandez-Santos, J. R., Martin-Acosta, F., Segura-Jimenez, V., Izquierdo-Gomez, R., Ruiz, J. R., & Cuenca-Garcia, M. (2021). Criterion-related validity of field-based fitness tests in adults: A systematic review. Journal of Clinical Medicine, 10(16), Article 3743. https://doi.org/10.3390/jcm10163743

Cazzoletti, L., Zanolin, M. E., Dorelli, G., Ferrari, P., Dalle Carbonare, L. G., Crisafulli, E., Alemayohu, M. A., Olivieri, M., Verlato, G., & Ferrari, M. (2022). Six-minute walk distance in healthy subjects: Reference standards from a general population sample. Respiratory Research, 23, Article 83. https://doi.org/10.1186/s12931-022-02003-y

Chiang, J.-K., Lin, Y.-C., Hung, T.-Y., Kao, H.-H., & Kao, Y.-H. (2024). The impact on autonomic nervous system activity during and following exercise in adults: A meta-regression study and trial sequential analysis. Medicina, 60(8), Article 1223. https://doi.org/10.3390/medicina60081223

Cozgarea, A., Cozma, D., Teodoru, M., Lazăr-Höcher, A.-I., Cirin, L., Faur-Grigori, A.-A., Lazăr, M.-A., Crișan, S., Gaiță, D., Luca, C.-T., & Văcărescu, C. (2024). Heart rate recovery: Up to date in heart failure—A literature review. Journal of Clinical Medicine, 13(11), Article 3328. https://doi.org/10.3390/jcm13113328

Craig, C. L., Marshall, A. L., Sjöström, M., Bauman, A. E., Booth, M. L., Ainsworth, B. E., Pratt, M., Ekelund, U., Yngve, A., Sallis, J. F., & 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

da Fonseca, R. X., Gomes da Cruz, C. J., Soares, E. M. K. V. K., Garcia, G. L., Porto, L. G. G., & Molina, G. E. (2024). Post-exercise heart rate recovery and its speed are associated with

resting-reactivity cardiovagal modulation in healthy women. Scientific Reports, 14, Article 5526. https://doi.org/10.1038/s41598-024-51842-w

Del Rosso, S., Baraquet, L., Bergero, G., Muñoz, F., Mazzocco, Y. L., Aoki, M. P., & Perovic, N. R. (2022). Associations between objectively measured physical activity, sedentary time, and cardiorespiratory fitness with inflammatory and oxidative stress markers and heart rate variability. Journal of Public Health Research, 11(2), Article 22799036221106580. https://doi.org/10.1177/22799036221106580

Fan, L. M., Collins, A., Geng, L., & Li, J.-M. (2020). Impact of unhealthy lifestyle on cardiorespiratory fitness and heart rate recovery of medical science students. BMC Public Health, 20, Article 1012. https://doi.org/10.1186/s12889-020-09154-x

Gencay-Can, A., & Can, S. S. (2012). Validation of the Turkish version of the fatigue severity scale in patients with fibromyalgia. Rheumatology International, (1), 27–31. https://doi.org/10.1007/s00296-010-1558-332

Grummt, M., Hafermann, L., Claussen, L., Herrmann, C., & Wolfarth, B. (2024). Rating of perceived exertion: A large cross-sectional study defining intensity levels for individual physical activity recommendations. Sports Medicine - Open, 10, Article 71. https://doi.org/10.1186/s40798-024-00729-1

Güneş, M., & Demirer, B. (2023). A comparison of caffeine intake and physical activity according to fatigue severity in university students. Evaluation & the Health Professions, 46(1), 92–99. https://doi.org/10.1177/01632787221141504

Hill, D. W. (2023). A physiological anchor for the perception of effort. Perceptual and Motor Skills, 130(4), 1663–1686. https://doi.org/10.1177/00315125231180383

Holland, A. E., Spruit, M. A., Troosters, T., Puhan, M. A., Pepin, V., Saey, D., McCormack, M. C., Carlin, B. W., Sciurba, F. C., Pitta, F., Wanger, J., MacIntyre, N., Kaminsky, D. A., Culver, B. H., Revill, S. M., Hernandes, N. A., Andrianopoulos, V., Camillo, C. A., Mitchell, K. E., . . . Singh, S. J. (2014). An official European Respiratory Society/American Thoracic Society technical standard: Field walking tests in chronic respiratory disease. European Respiratory Journal, 44(6), 1428–1446. https://doi.org/10.1183/09031936.00150314

Jaafar, Z., & Lim, Y. Z. (2023). A comparison of low and high dose of moderate intensity aerobic exercise on heart rate recovery of the sedentary adults: A pragmatic randomized controlled trial. The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 63(2), 310–318. https://doi.org/10.23736/S0022-4707.22.13958-7

Liu, Z., Zheng, P., Fang, Y., Huang, J., Huang, J., Chen, L., Hu, Q., Zou, C., Tao, J., & Chen, L. (2024). Joint association of sedentary time and physical activity with abnormal heart rate recovery in young and middle-aged adults. BMC Public Health, 24, Article 1787. https://doi.org/10.1186/s12889-024-19298-9

Mancia, G., Kreutz, R., Brunström, M., Burnier, M., Grassi, G., Januszewicz, A., Muiesan, M. L., Tsioufis, K., Agabiti-Rosei, E., Algharably, E. A. E., Azizi, M., Benetos, A., Borghi, C., Hitij, J. B., Cifkova, R., Coca, A., Cornelissen, V., Cruickshank, J. K., Cunha, P. G., . . . Kjeldsen, S. E. (2023). 2023 ESH guidelines for the management of arterial hypertension: The Task Force for the management of arterial hypertension of the European Society of Hypertension: Endorsed by the International Society of Hypertension (ISH) and the European Renal Association (ERA). Journal of Hypertension, 41(12), 1874–2071. https://doi.org/10.1097/HJH.0000000000003480

Riebe, D., Ehrman, J. K., Liguori, G., & Magal, M. (Eds.). (2018). ACSM's guidelines for exercise testing and prescription (10th ed.). Wolters Kluwer.

Ruotolo, I., Carenza, A., Sellitto, G., Simeon, R., Panuccio, F., Marini Padovani, A., Amadio, E., Ugolini, A., Berardi, A., & Galeoto, G. (2025). Exploring the psychometric properties of the fatigue severity scale: Results from a systematic review and reliability meta-analysis. Expert Review of Pharmacoeconomics & Outcomes Research, 25(7), 1021–1036. https://doi.org/10.1080/14737167.2025.2511128

Saglam, M., Arikan, H., Savci, S., Inal-Ince, D., Bosnak-Guclu, M., Karabulut, E., & Tokgozoglu, L. (2010). International Physical Activity Questionnaire: Reliability and validity of the Turkish version. Perceptual and Motor Skills, 111(1), 278–284. https://doi.org/10.2466/06.08.PMS.111.4.278-284

Sa-nguanmoo, P., Chuatrakoon, B., Parameyong, A., Jaisamer, K., Panyakum, M., & Suriyawong, W. (2024). Comparing the 6-minute walk test performance and estimated maximal oxygen consumption between physically active and inactive obese young adults. Physical Activity and Health, 8(1), 20–28. https://doi.org/10.5334/paah.310

Thomas, J. M., Black, W. S., Kern, P. A., Pendergast, J. S., & Clasey, J. L. (2022). Heart rate recovery as an assessment of cardiorespiratory fitness in young adults. Journal of Clinical Exercise Physiology, 11(2), 44–53. https://doi.org/10.31189/2165-6193-11.2.44

Yadav, S., & Kukreti, A. (2022). Heart rate recovery in sedentary and physically active individuals. Asian Pacific Journal of Health Sciences, 9(4), 35–37. https://doi.org/10.21276/apjhs.2022.9.4.08

NADİR TOPRAK ELEMENTİ İÇEREN ULTRA YÜKSEK ENTROPİLİ SERAMİKLERİN ÜRETİMİ VE TERMAL GENLEŞME DAVRANIŞLARI

Dr. Ramazan TUNCER
Milli Eğitim Bakanlığı, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-9608-5277
Doç.Dr. Muhammet KARABAŞ
Kırklareli Universitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Kırklareli, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-0666-6132
Doç.Dr. Ali AVCI
Hakkari Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Hakkari, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-3901-6248

ÖZET
Yüksek entropili (La, Gd, Yb, Sm, Y)$_{0.4}$(Si, Zr, Nb, Ti, Ce)$_{0.4}$O$_7$ seramiği, termal bariyer kaplama (TBC) uygulamaları için umut verici bir aday olarak geleneksel katı hâl yöntemiyle üretilmiş ve özellikleri sistematik biçimde incelenmiştir. Malzemenin üretim süreci; bilyalı öğütme, pelet presleme ve iki aşamalı sinterleme aşamalarından oluşmaktadır. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi (EDS) analizleri, malzemenin büyük oranda tek fazlı bir yapıya ve az miktar kalıntı fazlara sahip olduğunu ve tüm katyonların mikroyapı içerisinde neredeyse tamamen homojen bir biçimde dağıldığını ortaya koymuştur. Gelişen bu tek fazlı yapının ortalama tane boyutu ise 3.74 µm olarak ölçülmüştür. Fiziksel karakterizasyon testleri sonucunda, malzemenin yoğunluğu 5.48 g/cm³ olarak belirlenirken, gözeneklilik oranının yalnızca %1.15 gibi oldukça düşük bir seviyede kaldığı görülmüştür. Termal özellikler incelendiğinde; malzemenin ortalama termal genleşme katsayısı (CTE) 12.5 (×10^{-6} /°C) olarak belirlenmiştir. Bu değer, kaplama ile altlık arasındaki termal genleşme uyumunu destekleyerek yüksek sıcaklık ve tekrarlı termal çevrimler sırasında oluşabilecek termal gerilmelerin sınırlandırılmasına katkı sağlamaktadır. Buna bağlı olarak, kaplamanın termal çevrimler altında yapısal bütünlüğünü koruması ve termal kararlılığını sürdürmesi açısından avantajlı bir özellik sunmaktadır. Elde edilen bu ideal termofiziksel değerler ve üstün mikroyapısal özellikler, sentezlenen bu yeni nesil yüksek entropili malzemenin zorlu çalışma koşullarına sahip TBC sistemleri için son derece uygun ve güçlü bir alternatif olduğunu ortaya koymaktadır.
Anahtar kelimeler: Ultra yüksek entropi, nadir toprak elementi, termal genleşme

PRODUCTION AND THERMAL EXPANSION BEHAVIOR OF ULTRA-HIGH ENTROPY CERAMICS CONTAINING RARE EARTH ELEMENTS

ABSTRACT
The high-entropy (La, Gd, Yb, Sm, Y)$_{0.4}$(Si, Zr, Nb, Ti, Ce)$_{0.4}$O$_7$ ceramic was synthesized via a conventional solid-state route as a promising candidate for thermal barrier coating (TBC) applications, and its properties were systematically investigated. The processing route consisted of ball milling, pellet pressing, and two-step sintering. Scanning electron microscopy (SEM) and energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) analyses revealed a predominantly single-phase structure with minor residual phases, along with an almost homogeneous distribution of all constituent cations throughout the microstructure. The resulting microstructure exhibited an average grain size of 3.74 µm. Physical characterization revealed a density of 5.48 g/cm³ and a

remarkably low porosity of only 1.15%. In terms of thermal properties, the material exhibited an average coefficient of thermal expansion (CTE) of 12.5 × 10^{-6} °C^{-1}. This value is favorable for maintaining thermal expansion compatibility between the coating and substrate, thereby contributing to the mitigation of thermally induced stresses under high-temperature and cyclic thermal conditions. Consequently, the measured CTE is expected to contribute to the preservation of coating integrity and thermal stability during thermal cycling. The combination of favorable thermophysical properties and a refined microstructural architecture demonstrates the strong potential of this newly developed high-entropy ceramic as a promising alternative for TBC systems operating under demanding service conditions.
Keywords: Ultra-high entropy, rare earth element, thermal expansion

1. INTRODUCTION

The relentless demand for increased thermal efficiency in gas turbine engines, driven by the need for reduced fuel consumption and lower carbon emissions, has pushed turbine inlet temperatures (TIT) well beyond the melting points of nickel-based superalloys (Diwahar, Manivachakan, & Syed, 2025) . To bridge this gap, Thermal Barrier Coating (TBC) systems have become a cornerstone of modern aerospace and power generation engineering. These systems, typically consisting of a thermally grown oxide (TGO) layer and a ceramic topcoat, provide a significant temperature drop across the coating, thereby protecting the underlying metallic components (Bogdan & Peter, 2024).

For decades, 7–8 wt.% Yttria-Stabilized Zirconia (YSZ) has been the industry standard due to its exceptional fracture toughness, relatively low thermal conductivity, and a coefficient of thermal expansion (CTE) that is well-matched with metallic substrates . However, as operating temperatures exceed 1200°C, YSZ encounters severe degradation mechanisms. These include rapid sintering, which leads to a loss of strain tolerance, and the deleterious phase transformation from the metastable tetragonal (t') phase to the monoclinic (m) phase upon cooling, which induces significant volume expansion and subsequent coating spallation (Vagge & Ghogare, 2022). Furthermore, the increasing prevalence of Calcium-Magnesium-Alumino-Silicate (CMAS) ingestion in modern engines has highlighted the vulnerability of YSZ to molten silicate corrosion, which penetrates the porous structure and accelerates chemical degradation (Bal & Karabaş, 2023).

To overcome the intrinsic limitations of conventional TBC materials, the materials science community has recently turned toward the concept of "entropy stabilization." Originally pioneered in high-entropy alloys (HEAs) by Cantor et al. (Cantor, Chang, Knight, & Vincent, 2004), the principle of maximizing configurational entropy has been successfully extended to ceramic systems. High-Entropy Ceramics (HECs) are defined as multi-component systems where five or more cations occupy a single lattice site, resulting in a thermodynamically stabilized single-phase solid solution (Yeh et al., 2004).

The "cocktail effect" in HECs—characterized by severe lattice distortion—is a critical factor in their performance. This distortion significantly enhances phonon scattering, leading to intrinsically lower thermal conductivity compared to binary or ternary oxides (Akrami, Edalati, Fuji, & Edalati, 2021). Moreover, the sluggish diffusion effect, a hallmark of high-entropy systems, provides superior resistance to sintering and grain growth at elevated temperatures (Sarkar et al., 2019). Recent studies by Rost et al. (Rost et al., 2015) on entropy-stabilized oxides have demonstrated that these materials can maintain structural integrity under conditions

that would cause conventional ceramics to decompose or undergo phase separation.

Rare Earth Elements (REEs) have emerged as essential components in the design of next-generation HECs. Due to their unique 4f electron configurations and varying ionic radii, REEs allow for precise control over the lattice parameters and oxygen vacancy concentrations (Anupam & Joshi, 2026). The incorporation of elements such as La, Gd, Yb, Sm, and Y into a complex oxide lattice not only promotes entropy stabilization but also enables the "defect engineering" of the material. As noted by Wang et al. (Wang et al., 2024), the introduction of multiple REE cations can effectively suppress the thermal conductivity by creating a high density of point defects that scatter phonons across a broad frequency spectrum.

Furthermore, the chemical complexity of REE-containing HECs offers a promising solution to CMAS-induced degradation. The interaction between the coating surface and molten CMAS often results in the formation of a stable apatite or fluorite-type reaction layer, which acts as a barrier to further infiltration (Wei et al., 2025) . Despite these promising findings, the systematic exploration of multi-component systems containing Si, Zr, Nb, Ti, and Ce remains limited. The synergistic effect of these diverse cations on the thermophysical properties, particularly the CTE and thermal stability, requires further investigation to ensure compatibility with metallic superalloys.

Despite the growing body of literature on HECs, there is a lack of comprehensive data regarding the synthesis and thermophysical evaluation of complex (La, Gd, Yb, Sm, Y)0.4(Si, Zr, Nb, Ti, Ce)0.4O7 systems. The interplay between the high configurational entropy and the resulting microstructural stability is not yet fully understood.

In this study, we aim to bridge this gap by synthesizing a novel high-entropy ceramic system via a conventional solid-state reaction route. The specific objectives are:

- To characterize the phase evolution and structural stability of the (La, Gd, Yb, Sm, Y)0.4(Si, Zr, Nb, Ti, Ce)0.4O7 system using XRD and SEM/EDS analysis.
- To evaluate the thermal expansion behavior and thermal conductivity, providing a quantitative assessment of the material's suitability for TBC applications.
- To establish a correlation between the lattice distortion, induced by the multi-component cation arrangement, and the observed thermophysical performance.
- By providing a detailed analysis of this novel composition, this research contributes to the fundamental understanding of high-entropy ceramic design and offers a potential pathway for the development of more durable and efficient thermal barrier coatings.

2. MATERIAL AND METHODS

In this study, high-purity oxide powders, including Gd_2O_3, Yb_2O_3, La_2O_3, Sm_2O_3, Y_2O_3, SiO_2, NbO_2, TiO_2, CeO_2 and ZrO_2, all with a particle size of 325 mesh, were selected as reactants. For the synthesis of $(La, Gd, Yb, Sm, Y)_{0.4}(Si, Zr, Nb, Ti, Ce)_{0.4}O_7$ compound, the required amounts of RE_2O_3, metal oxide and REO_2 powders were precisely weighed according to the stoichiometric ratios. The mixed powders were mechanically homogenized using a planetary ball mill with zirconium balls under dry milling conditions. The milling process was conducted at a rotation speed of 360 rpm for 12 h, with a powder-to-zirconium ball mass ratio of 1:8. Following the ball milling process, the powders were dried in an oven at 90 ^oC for 24 h to remove residual moisture. The prepared powders were compacted into pellets with a diameter

of 12 mm using a uniaxial press. The pressing process was conducted under 200 MPa for 2 min with the aid of a mold. For the sintering process, samples were pre-sintered at 1100 ºC for 4 hours, after, samples were sintered at 1500 ºC for 12 h under an air atmosphere. During the sintering process, the heating rate was maintained at 8 ºC/min, and after completion, the samples were allowed to cool naturally to room temperature.

The phase structure of $(La, Gd, Yb, Sm, Y)_{0.4}(Si, Zr, Nb, Ti, Ce)_{0.4}O_7$ was characterized by X-Ray diffraction analysis (XRD, Panalytical Xpert Pro, CuKα radiation) in the 10º–90º 2θ range. Lattice parameters and theoretical densities of ceramic samples were calculated using HighScore Plus 3.0e software (PANalytical, Almelo, The Netherlands). The microstructure and morphologies of the bulk ceramics were investigated using a Field Emission Scanning Electron Microscope (FESEM, FEI, NOVA NANOSEM 650). The samples were prepared for SEM analysis by polishing and thermally etching them in air for 45 min at a temperature 75 ºC below the sintering temperature. The average grain size was determined using the standard linear intercept method by counting the number of grains intercepted per unit length.

The coefficient of thermal expansion was measured with a high-temperature dilatometer (Expert System Misura ODHT) in the temperature range of 100 ºC from 100 ºC to 1150 ºC. Densities of bulk samples were measured in distilled water using the Archimedes method.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The microstructural properties of the $(La, Gd, Yb, Sm, Y)_{0.4}(Si, Zr, Nb, Ti, Ce)_{0.4}O_7$ high-entropy ceramic composition, synthesized via the solid-state reaction method and subjected to a two-step sintering process, were investigated by scanning electron microscopy (SEM) using a backscattered electron (BSE) detector. The corresponding SEM micrograph (Fig. 1) structurally reveals the phase stability, densification behavior, and grain morphology achieved by the material after sintering. As a result of the image analysis, the surface contrast (Z-contrast) obtained in BSE mode was found to exhibit a highly homogeneous distribution. This uniform gray tone proves that no macro-level secondary phase separation or regional elemental segregation occurred in the designed $A_2B_2O_7$ type formulation. Despite the multi-component system (containing rare earth and transition metals), this uniform structure is a fundamental indicator of the successful formation of a thermodynamically stable single-phase solid solution matrix.

Upon evaluating the densification profile of the microstructure, it was observed that the material did not reach full density, retaining a specifically designed porosity within the microstructure. These residual pores, clearly distinguishable as dark-colored, circular, or irregularly shaped regions in the SEM micrograph, are predominantly located at triple junctions and grain boundaries. Based on physical analyses, the synthesized ceramic was determined to have a relative density of 84% and a porosity of 14%. This observed 14% porous structure offers critical advantages for targeted thermal barrier coating (TBC) applications. These pores, distributed relatively homogeneously within the matrix, exert a strong effect on reducing the overall thermal conductivity of the material by disrupting heat conduction pathways and enhancing phonon scattering. In addition, this pore network present in the structure can improve the strain tolerance and thermal shock resistance of the coating by acting as a stress-relieving mechanism against thermal stresses that may arise during high-temperature thermal cycling (Karabaş, Bal, KILIÇ, & Taptık, 2016).

Consequently, the homogeneous single-phase structure and the targeted porosity profile (14%) exhibited by this high-entropy ceramic composition simultaneously meet the requirements of reducing thermal conductivity and enhancing thermomechanical stability, thereby proving that the material is a promising thermal/environmental barrier candidate for gas turbine engine components operating under harsh conditions.

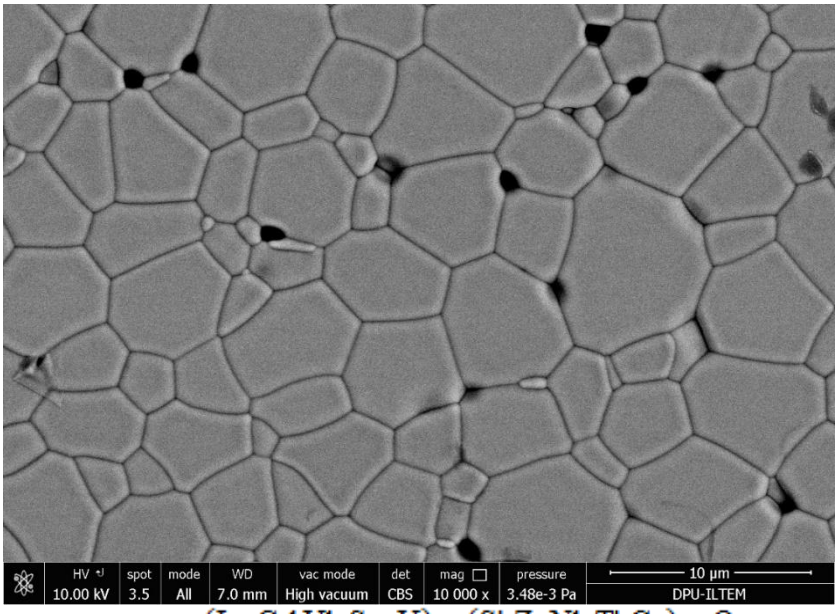


Fig.1 SEM micrograph of the $(La,Gd,Yb,Sm,Y)_{0.4}(Si,Zr,Nb,Ti,Ce)_{0.4}O_7$ ceramic.

The results of the X-ray Diffraction (XRD) analysis, conducted to determine the crystal structure and phase composition of the synthesized high-entropy ceramic composition, have been investigated in detail. The presented diffractogram clearly reveals the dominant crystallographic structure of the obtained material and the existing minority phases.

The high-intensity and sharp characteristic peaks marked with a black inverted triangle (▼) in the graph represent the $A_2B_2O_7$-type phase constituting the main matrix of the material. As indicated in the legend, this peak pattern belongs to the structure with the $Fd\text{-}3m$ space group, proving that the material has highly crystallized into the targeted pyrochlore crystal system (Tuncer, Karabaş, Gökçe, & Kayalı, 2025). In particular, the narrowness and high intensity of the main diffraction peak observed around $2\theta \approx 30^\circ$ indicate that the crystallinity of the main matrix has reached significantly high levels as a result of the solid-state reaction and sintering processes.

In addition to the main pyrochlore phase, low-intensity reflections marked with a white inverted triangle (▽) are present in the diffractogram, particularly at low 2θ angles and at the bases of the main peaks. These minor peaks, identified as residual phases, indicate that the synthesized ceramic is not 100% single-phase and that unreacted starting oxides or intermediate/secondary phases formed during sintering are present within the structure, albeit as a minority.

In such complex high-entropy ceramic systems, where 10 different cations (rare earth and transition metals) attempt to accommodate within the same lattice, achieving a thermodynamically pure single-phase structure is highly challenging. Evaluating the obtained

XRD profile, it can be concluded that the material possesses a structurally dominant $Fd\text{-}3m$ pyrochlore matrix, and given the low intensities of the existing residual phases, they are not at a level that would dramatically impair the overall thermal barrier properties (such as low thermal conductivity and high phase stability) of the material.

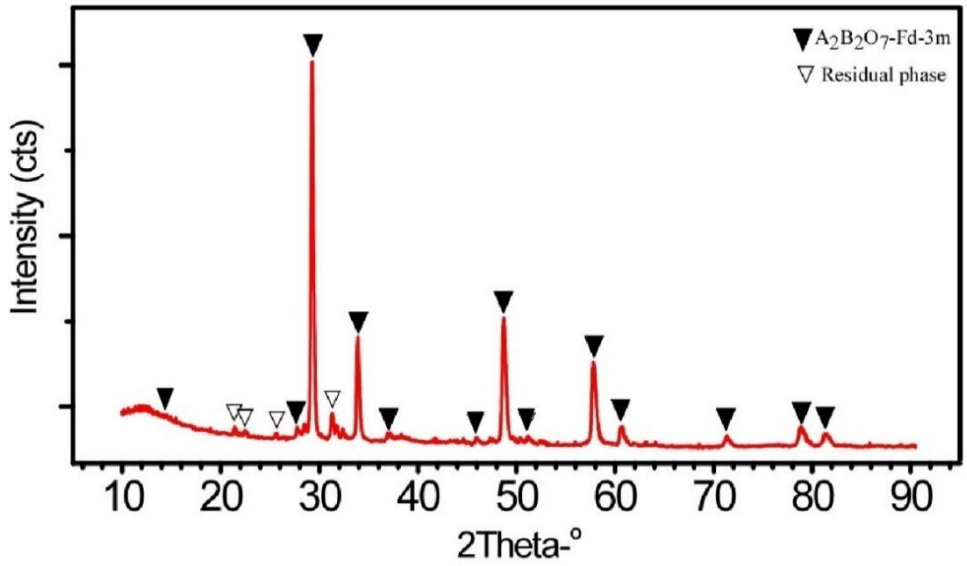


Fig.2 XRD pattern of the $(La,Gd,Yb,Sm,Y)_{0.4}(Si,Zr,Nb,Ti,Ce)_{0.4}O_7$ ceramic

The temperature-dependent variation of the coefficient of thermal expansion (CTE) of the synthesized high-entropy ceramic composition is presented in Figure 3. Upon examining the curve, it is observed that the thermal expansion behavior of the material exhibits a characteristic profile with increasing temperature. In the initial regime between 100°C and 300°C in the graph, a rapid and sharp increase in the CTE value is observed due to the increase in atomic vibration amplitudes within the structure. In the broad high-temperature range extending from 300°C to 1150°C, which reflects the actual operating conditions, the coefficient of thermal expansion generally followed a steady course by drawing a stable plateau (with the exception of a minimal fluctuation around 700°C). As a result of the applied characterization tests, the average coefficient of thermal expansion of the material in this operating regime was determined to be 12.5×10^{-6} /°C.

Obtaining this value is a critical achievement for thermal and environmental barrier coating (TBC/EBC) applications. Steel or nickel-based superalloys used as substrate materials in aircraft engines and gas turbines inherently possess high coefficients of thermal expansion. A large difference in expansion coefficients between the ceramic top coat and the metallic substrate or bond coat leads to the generation of severe thermal mismatch stresses at the interface during thermal cycling, resulting in premature spallation of the coating. This coefficient at the level of 12.5×10^{-6} /°C, which is considerably high compared to conventional ceramics, indicates that the synthesized ceramic will provide excellent thermomechanical compatibility with the metallic substrate (Ferguen, Leclerc, & Lamini, 2023).

Consequently, the thermal expansion profile presented in Figure 3 directly proves that the synthesized $(La,Gd,Yb,Sm,Y)_{0.4}(Si,Zr,Nb,Ti,Ce)_{0.4}O_7$ high-entropy system not only

maintains its stability against structural volume changes at high temperatures but also demonstrates the potential of the coating system to exhibit durable performance.

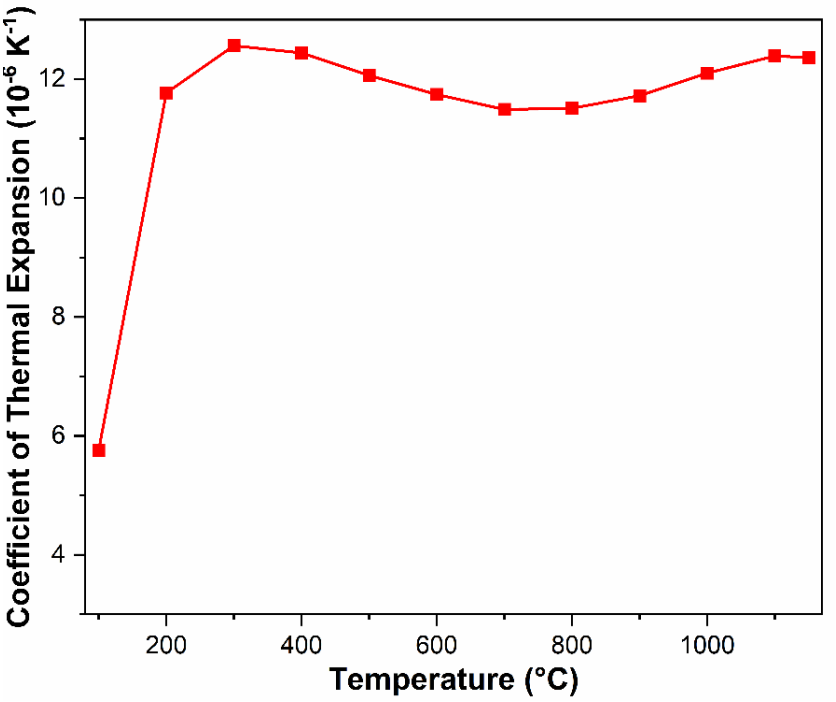


Fig.3 CTE graph of the $(La,Gd,Yb,Sm,Y)_{0.4}(Si,Zr,Nb,Ti,Ce)_{0.4}O_7$ ceramic.

4. CONCLUSIONS

An ultra-high entropy ceramic material containing rare earth elements with the composition (La, Gd, Yb, Sm, Y)0.4(Si, Zr, Nb, Ti, Ce)0.4O7 has been successfully produced via solid-state reaction and conventional sintering methods.

As a result of the XRD analyses of the produced material, it was observed that a pyrochlore ($A_2B_2O_7$) crystal structure was successfully formed. Furthermore, SEM images revealed that a homogeneous microstructure with an average grain size of ~3.24 µm and a relative density of 86% was obtained. It was measured that the coefficient of thermal expansion (CTE) of the material remained stable in the range of ~11.5 - 12.5 x 10^{-6} K^{-1} up to 1150 °C and reached high values. This obtained CTE value is compatible with the metal substrates in turbine engines. This situation indicates that the produced ultra-high entropy ceramic is a highly strong alternative as a thermal barrier coating (TBC) material in next-generation gas turbine engines (compared to conventional YSZ and $Gd_2Zr_2O_7$).

In future studies, the thermal conductivity behavior of this ceramic composition will be analyzed, and its manufacturability as a coating via plasma spraying or EB-PVD will be investigated.

REFERENCES

Akrami, S., Edalati, P., Fuji, M., & Edalati, K. (2021). High-entropy ceramics: Review of principles, production and applications. *Materials Science and Engineering: R: Reports, 146*, 100644. doi:https://doi.org/10.1016/j.mser.2021.100644

Anupam, A., & Joshi, S. (2026). High entropy oxides as next-generation thermal barrier coatings – A processing perspective. *Journal of the European Ceramic Society, 46*(14), 118499. doi:https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2026.118499

Bal, E., & Karabaş, M. (2023). Effect of molten glass on degradation of stabilized zirconia thermal barrier coatings. *Journal of the Korean Ceramic Society, 60*(2), 331-343. doi:10.1007/s43207-022-00268-z

Bogdan, M., & Peter, I. (2024). A Comprehensive Understanding of Thermal Barrier Coatings (TBCs): Applications, Materials, Coating Design and Failure Mechanisms. *Metals, 14*(5), 575. doi:10.3390/met14050575

Cantor, B., Chang, I. T. H., Knight, P., & Vincent, A. J. B. (2004). Microstructural development in equiatomic multicomponent alloys. *Materials Science and Engineering: A, 375-377*, 213-218. doi:https://doi.org/10.1016/j.msea.2003.10.257

Diwahar, D., Manivachakan, V., & Syed, R. B. (2025). An Overview of Rare Earth-Doped Ceramic Thermal Barrier Coatings for High-Temperature Performance of Nickel-Based Superalloys. *High Temperature Corrosion of Materials, 102*(4), 17. doi:10.1007/s11085-025-10340-8

Ferguen, N., Leclerc, W., & Lamini, E. S. (2023). Numerical investigation of thermal stresses induced interface delamination in plasma-sprayed thermal barrier coatings. *Surface and Coatings Technology, 461*, 129449. doi:https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2023.129449

Karabaş, M., Bal, E., KILIÇ, A., & Taptık, İ. Y. J. J. o. t. A. C. S. (2016). Effect of Air Plasma Spray Parameters on the Properties of YSZ and CYSZ Thermal Barrier Coatings. *52*(2), 175.

Rost, C. M., Sachet, E., Borman, T., Moballegh, A., Dickey, E. C., Hou, D., . . . Maria, J.-P. (2015). Entropy-stabilized oxides. *Nature Communications, 6*(1), 8485. doi:10.1038/ncomms9485

Sarkar, A., Qingsong, W., Schiele, A., Chellali, M., Bhattacharya, S., Wang, D., . . . Breitung, B. (2019). High-Entropy Oxides: Fundamental Aspects and Electrochemical Properties. *Advanced Materials, 31*. doi:10.1002/adma.201806236

Tuncer, R., Karabaş, M., Gökçe, H., & Kayalı, Y. (2025). Effect of Yb, Fe and Mo, Ti Co-doping on thermal and mechanical properties of Gd2Zr2O7 ceramics. *Ceramics International, 51*(19, Part B), 28678-28688. doi:https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2025.04.075

Vagge, S. T., & Ghogare, S. (2022). Thermal barrier coatings: Review. *Materials Today: Proceedings, 56*, 1201-1216. doi:https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.170

Wang, J., Chen, L., Wang, G., Zhao, S., Yuan, B., Li, H., . . . Feng, J. (2024). Dual-phase zirconate/tantalate high-entropy ceramics boost thermal properties and fracture toughness for thermal barrier coating materials. *Journal of Materials Research and Technology, 32*, 3825-3830. doi:https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.08.187

Wei, P., Bai, H., Liu, Y., Zhuang, L., Yu, H., & Chu, Y. (2025). Improved CMAS corrosion resistance of high-entropy rare-earth monosilicates by multicomponent synergistic effects. *Ceramics International, 51*(20, Part B), 32175-32183. doi:https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2025.04.405

Yeh, J.-W., Chen, S. K., Lin, S.-J., Gan, J.-Y., Chin, T.-S., Shun, T., . . . Chang, S. Y. (2004). Nanostructured High-Entropy Alloys with Multiple Principal Elements: Novel Alloy Design Concepts and Outcomes. *Advanced Engineering Materials, 6*, 299-303. doi:10.1002/adem.200300567

YAPIDAN SOKAĞA İKİNCİL BİR TÜRK ŞEHRİNDE KENTSEL DÖNÜŞÜM UYGULAMALARININ ÇOK ÖLÇEKLİ MİMARİ ETKİSİ

Asst. Prof. Alper GÖNÜL
Bursa Technical University, Faculty of Design and Architecture, Department of Architecture, 16330 Yıldırım, Bursa
ORCID ID: 0000-0002-8257-3026
Graduate Student Seray KAYA
Bursa Technical University, Faculty of Design and Architecture, Department of Architecture, 16330 Yıldırım, Bursa
ORCID ID: 0009-0005-0190-468X
Prof. Dr. Selen DURAK
Bursa Uludağ University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, 16059 Nilüfer, Bursa
ORCID ID: 0000-0001-7499-8246
Prof. Dr. Tülin VURAL ARSLAN
Bursa Uludağ University, Faculty of Architecture, Department of Architecture, 16059 Nilüfer, Bursa
ORCID ID: 0000-0003-2072-4981

ÖZET

Kentler; kültürel, sosyal, politik, ekonomik ve teknolojik faktörlere bağlı olarak evrilen karmaşık ve dinamik sistemler olarak çalışmaktadır. Bu kentsel değişim genellikle; yüksek kaliteli, canlılığını koruyan ve yaşanabilir kentsel alanlar ya da gelişimi durmuş, işlevini yitirmiş ve atıl kentsel çevreler olarak belirgin mekansal farklılıklar üretmektedir. Bu bağlamda kentsel dönüşüm, belirli bir mekansal alanın belirli bir zaman dilimi içinde dışsal etkilere karşı yapısal olarak uyum sağlaması anlamına gelmektedir. Yerel bağlama özgü parametreler dikkate alındığında, kentsel dönüşümü yönlendiren dinamikler şehirden şehire belirgin bir şekilde farklılaşmaktadır.

Bu yaklaşım doğrultusunda, bu çalışma Türkiye'deki kentsel dönüşüm uygulamalarının yerel unsurlarını ele almakta, bu uygulamaların konut mimarisi ve yakın kentsel çevresi üzerindeki etkilerini değerlendirmektedir. Bu araştırma sorunsalını somutlaştırmak için hem genel Türk kentsel dönüşüm uygulamasına örnek teşkil eden, aynı zamanda kendine özgü yerel özellikler barındıran Bursa şehri seçilmiştir. Bursa'da gerçekleştirilen konut işlevli bir kentsel dönüşüm projesi üzerinden müdahale öncesi ve sonrası olmak üzere karşılaştırmalı bir analizle mimari ve yakın kentsel doku ölçeğindeki değişimler incelenmiştir. Mimari ölçekteki değişim değerlendirmesi mimari farklılaşma, iç mekan organizasyonu, kat alanı, plan tipolojisi ve işlevsel dağılım üzerinden gerçekleştirilmiştir. Yakın kentsel doku dönüşümleri ise, sokak canlılığı ve yürünebilirlik üzerindeki etkileri ölçmek amacıyla, AI tabanlı derin öğrenmeye dayalı semantik segmentasyon kullanılarak sokak düzeyinde imgelenebilirlik (imageability), açıklık (openness) ve yeşil doku (greenery) parametreleri üzerinden değerlendirilmiştir.

Anahtar kelimeler: Kentsel dönüşüm, konut dönüşümü, semantik segmentasyon, ikincil şehir, Bursa

FROM BUILDING TO STREET: THE MULTI-SCALAR ARCHITECTURAL IMPACT OF URBAN REGENERATION PRACTICES IN A TURKISH SECONDARY CITY

ABSTRACT

Cities operate as complex and dynamic systems that continually evolve in response to cultural, social, political, economic and technological drivers. This urban evolution often produces stark spatial disparities, manifesting either as high-quality, livable environments or as declining, obsolete urban areas. Urban transformation thus represents the structural adaptation of a designated spatial domain to external shocks within a given timeframe. When context-specific local parameters are taken into consideration, the dynamics underlying urban transformation exhibit significant variation across cities.

Within this framework, this study investigates the localized origins of urban regeneration practices in Türkiye, evaluating their subsequent impacts on residential architecture and the adjacent urban fabric. To operationalize this investigation, a residential regeneration project in Bursa—a city exemplifying broader Turkish urban practice while exhibiting unique local dynamics—was empirically evaluated through a comparative pre- and post-intervention analysis. The analytical framework encompasses two scales: architectural shifts are assessed through interior spatial organization, floor area, plan typology, and functional allocation; whereas urban fabric transformations are evaluated via street-level imageability, openness, and greenery using AI based deep learning semantic segmentation to measure impacts on street vitality and walkability.

Keywords: Urban transformation, housing regeneration, semantic segmentation, Bursa

1. GİRİŞ

Kentler, sürekli olarak değişen ve dönüşen karmaşık ve dinamik sistemlerdir. Kentlerdeki dönüşüm ve değişiklikler ekonomik, siyasi, sosyal ve kültürel gibi çok boyutlu etkilerin sonucu olarak ortaya çıkmakta ve kentsel çevrede gelişim ya da eskime/bozulma olarak kendini göstermektedir (Levent, 2018). Sözü edilen bu eskiyen ya da bozulan kentsel çevreler kentsel dönüşümün odak noktaları olarak karşımıza çıkmaktadır. Kentsel dönüşüm, şehirlerin bir tür değişikliklere karşılık verme yolu olarak ön plana çıkmaktadır. Bu girişim, bozulmuş kentsel ortamların rehabilitasyonu ve/veya yeniden yapılandırılmasına yönelik politikalar, stratejiler ve eylem planlarından oluşan bütüncül bir yaklaşımı içermektedir (Akkar, 2006).

Türkiye'deki kentleşme süreci, Osmanlı döneminden miras kalan kent katmanı üzerine inşa edilmiştir. 1923'te Türkiye Cumhuriyeti'nin kurulmasının ardından, milli ekonomi politikası ve ulus devlet anlayışının mekanlarının inşa edilme süreci, 1930'lardaki kent planlama deneyiminin belirleyici faktörleri olmuştur (Şengül 2003; Keskinok 2010). Bu politikalar sonucunda Türk şehirlerinde, özellikle yeni fabrikalar ve kamu binaları olmak üzere yoğun inşaat faaliyetleri gözlemlenmiştir. 1950'lerde Türkiye'de sanayileşmenin hızlanmasıyla birlikte İstanbul, Ankara, İzmir ve Bursa gibi büyük şehirler kırsal kesimlerden yoğun göç alarak kontrolsüz bir büyüme sürecinden girmiştir. Bu büyümeye yanıt verecek yeterli planlanmış alan ve konutların bulunmaması, bu şehirlerde gecekondu oluşumlarına yol açmıştır. Kentlerin çeperlerinde ve kent merkezlerinde, imara elverişsiz olduğu için boş bırakılmış alanlarda kendine yer seçen gecekondu yerleşimleri, mevcut yapılanmış çevreyle belirgin bir tezat oluşturmaktaydı (Tekeli, 1998). Öte yandan, hızlı kentleşmeyle birlikte şehirlerdeki arsa fiyatları arttıkça, orta sınıf vatandaşlar bu yüksek arsa fiyatlarını karşılayamaz hale gelmiştir. Bu gelişmeler doğrultusunda, orta gelir gruplarının arsa maliyetini paylaşarak tek bir parsel üzerinde çok sayıda konut inşa edebilmesini mümkün kılan 634 sayılı Kat Mülkiyeti Kanunu, 1965 yılında yürürlüğe girmiştir (Tekeli, 2011). 1970'li yıllarda kentleşme sürecinin hız

kazanması, otomobil sahipliğinin yaygınlaşması ve görece yüksek standartlı yolların inşası, Türkiye'deki kentlerde uydu kentlerin oluşumunu beraberinde getirmiştir. Türkiye'de kentsel büyüme 1970'li yıllara kadar tekil yapıların birikimli biçimde birbirine eklenmesine dayanırken bu dönemden itibaren toplu konut projeleri, organize sanayi bölgeleri, serbest ticaret bölgeleri ve üniversite kampüsleri gibi büyük ölçekli kentsel bileşenler aracılığıyla gerçekleşmeye başlamıştır. Bu dönemde, Merkezi İş Bölgesi (MİA) çevresinde yoğunlaşan üretim faaliyetleri kent çeperlerine doğru kaymıştır. Kent merkezlerinin ve gecekondu alanlarının dönüşümü, 1980'li yıllardan itibaren kentsel politika gündeminde yer almaya başlamıştır (İlkme, 2008). Toplu konut üretimi yoluyla gecekondu yerleşimlerini azaltmak ve düşük gelirli kesimlere konut sağlamak amacıyla 1984 yılında Toplu Konut İdaresi Başkanlığı (TOKİ) kurulmuştur (Isikkaya, 2016; Batuman ve Erkip, 2017).

Neoliberal ideolojinin küresel ölçekte egemen bir paradigma niteliği kazandığı 1980'li yıllarda, Türkiye'de de neoliberal politikalar etkisini göstermeye başlamıştır (Tutar ve Bal, 2019). Bu dönemden itibaren kentsel araziye yönelik neoliberal kalkınma yaklaşımı, Türkiye'deki kentsel planlama politikalarının başlıca belirleyicisi hâline gelmiştir. Neoliberal ekonomi politikalarında kentsel arazi sermaye kaynağı olarak görüldüğünden, planlama düzenlemeleri ile kentsel kalkınma politikaları siyasi karar süreçleriyle de büyük ölçüde ilişkili duruma gelmiştir. Bu çerçevede, Türkiye'de iktidarın merkezileşmesine paralel olarak, kent planlaması ve kentsel dönüşüm dâhil birçok alanda yasal ve kurumsal düzenlemeler merkezî yönetim eliyle yürürlüğe konulmuştur (Kısar-Koramaz ve diğ., 2018). Kurumsal düzenlemelerin temel sonucu, kent planlama ve kentsel dönüşüm yetkilerinin Türkiye Konut Geliştirme İdaresi (TOKİ) ve Türkiye Cumhuriyeti Çevre ve Şehircilik Bakanlığı gibi kurumlara devredilmesi olmuştur (Bartu-Candan ve Kolluoglu, 2008; Güzey, 2014).

1999 Marmara Depremi ve 2011 Van Depremi'nin ardından, afet riski altındaki kentsel alanlara yönelik yeni yasal düzenlemeler geliştirilmiştir. Bu çerçevede, 2012 yılında 6306 sayılı "Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun" yürürlüğe girmiştir. Bu kanunun yürürlüğe girmesinin ardından, afet (özellikle deprem) etkilerinin azaltılması amacıyla yürütülen kentsel dönüşüm uygulamaları yeni bir ivme kazanmış ve kentsel alanlarda köklü ekonomik, sosyal ve mekânsal dönüşümler yaşanmaya başlamıştır. Bu kanun hem münferit yapıların yenilenmesine hem de alan bazlı kentsel dönüşüm projelerinin uygulanmasına olanak tanıyan ikili bir yasal çerçeve oluşturmuştur.

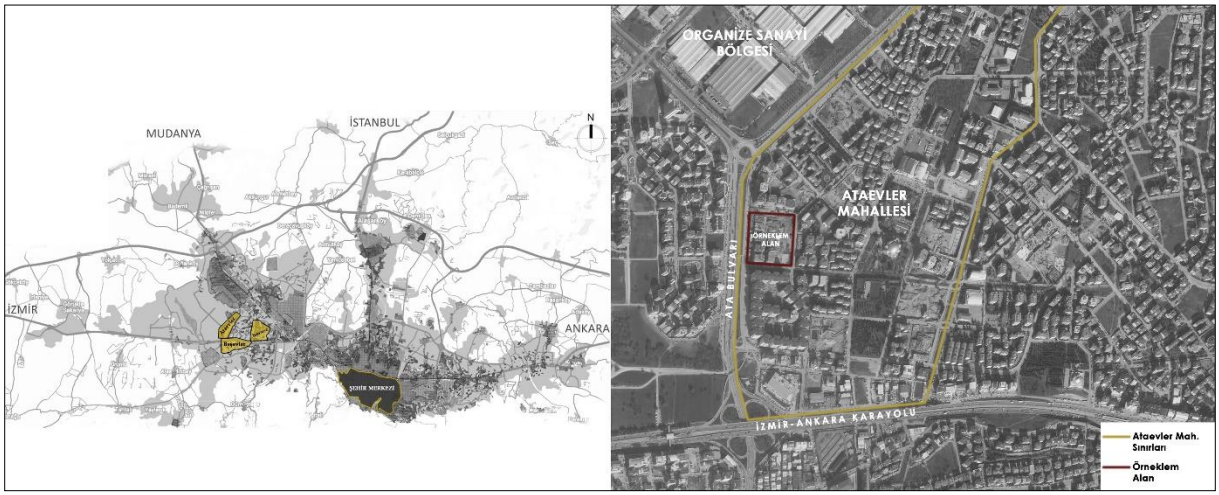
Bu tarihsel çerçeve bağlamında çalışmanın amacı, kentsel dönüşüm uygulamalarının Türkiye'deki yerel dinamiklerini ortaya koymak aynı zamanda bu uygulamaların konut mimarisine ve yakın kentsel çevreye etkilerini değerlendirmektir. Araştırma sorunsalını somutlaştırmak üzere, Türkiye'deki kentsel dönüşüm uygulamalarının genel özelliklerini temsil etmesinin yanı sıra kendine özgü yerel nitelikler de barındırması nedeniyle, yaklaşık 45 yıl önce inşa edilen Bursa Ataevler Mahallesi çalışma alanı olarak belirlenmiştir. Bu mahallede seçilen konut işlevli bir kentsel dönüşüm projesi üzerinden, müdahale öncesi ve sonrasını karşılaştıran bir analizle mimari ölçekte ve yakın kentsel doku ölçeğinde meydana gelen değişimler incelenmiştir. Mimari ölçekte dönüşümün değerlendirilmesinde; mimari kurgudaki farklılaşma, iç mekân organizasyonu, kat alanları, plan tipolojisi, işlevsel dağılım, yerleşim kararları ve bina-bahçe ilişkileri ölçüt olarak ele alınmıştır. Yakın kentsel doku ölçeğindeki dönüşümlerin mekan kalitesi ve yürünebilirlik üzerindeki etkileri derin öğrenmeye dayalı anlamsal bölütleme yöntemiyle elde edilen sokak düzeyindeki açıklık (openness), yeşil doku (greenery) ve imgelenebilirlik (imageability) parametreleri aracılığıyla değerlendirilmiştir. Açıklık, yeşil doku ve imgelenebilirlik göstergeleri hem Ataevler Mahallesi'nin yerel koşulları hem de literatürdeki benzer çalışmalar göz önünde bulundurularak belirlenmiştir (Gao ve diğ., 2024; Hao ve diğ., 2026).

2. MATERYAL ve METOD

2.1. Çalışma Alanı

Örneklem çalışma alanı; nüfus ve ekonomik katkı bakımından Türkiye'nin dördüncü büyük şehri olan, Türk şehirlerindeki kentsel gelişim uygulamalarının özelliklerini yansıtan ve ikincil şehir karakteri gösteren Bursa'da seçilmiştir (Türkiye İstatistik Kurumu, 2025).

Bursa, Türkiye'nin en önemli tarihi şehirlerinden biridir. Osmanlı İmparatorluğu'nun ilk başkenti olan Bursa; doğası, özgün coğrafyası ve zengin kültürel geçmişiyle stratejik bir şehir olmayı başarmıştır. Uludağ'ın eteklerinde, Bursa Ovası'na hâkim bir konumda kurulan şehir; tarih boyunca önemli bir ipek üretim merkezi olmuş, zamanla gelişerek önde gelen tekstil ticaret merkezlerinden biri hâline gelmiştir (Çizakça, 1980). Bursa şehri; hanları, camileri, hamamları, bedestenleri, medreseleri, türbeleri, külliyeleri ve sivil mimari örnekleriyle erken dönem Osmanlı kent dokusunu büyük ölçüde korumuş olup bu özellikleri sayesinde 2014 yılında UNESCO Dünya Miras Listesi'ne dâhil edilmiştir (UNESCO, 2014).



Şekil 1. Bursa'nın batısında 1980 sonrasında oluşan konut mahalleleri ve Ataevler Mahallesi

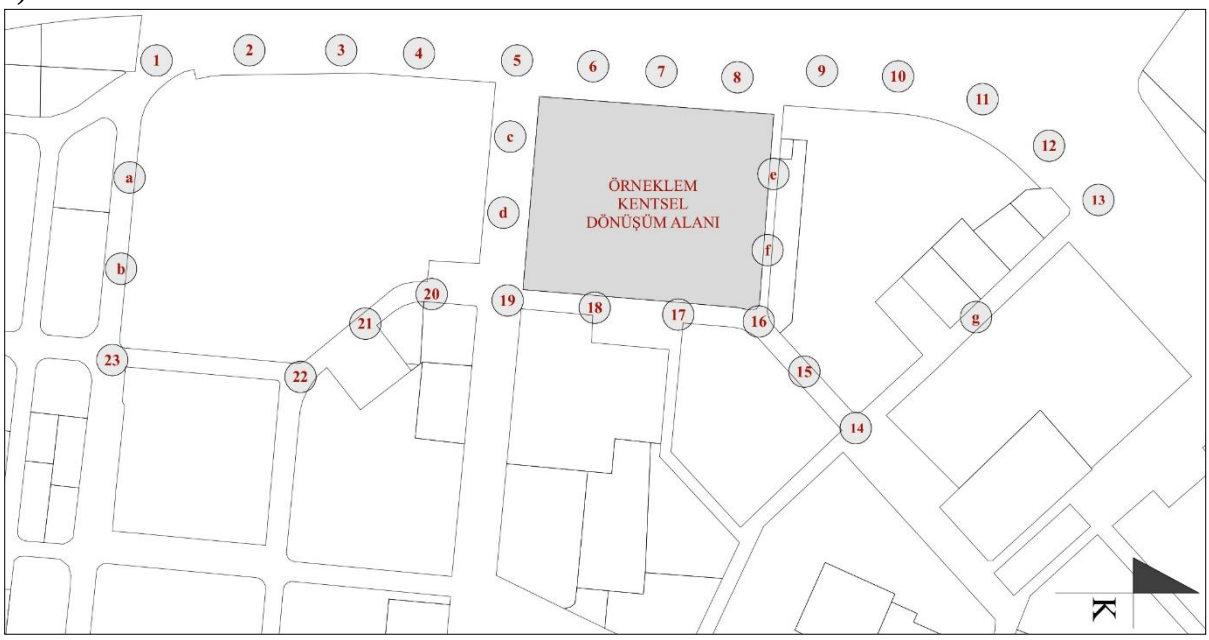
Bursa'da tekstil ve otomotiv sektörlerinin öncülüğünde ortaya çıkan sanayileşme süreci, 1960'larda nüfus artışı gibi kentleşme sonuçlarını da beraberinde getirmiştir. Bu gelişme neticesinde sanayi bölgelerine yakın yeni yerleşim bölgeleri oluşmuştur. 1961 yılında Bursa'da açılan Türkiye'nin ilk organize sanayi bölgesi bu gelişimi hızlandırmıştır (Tomruk, 2010).

1980 sonrasında küresel ölçekte yaygınlaşan liberal ekonomi politikaları Türkiye'de de etkisini göstermeye başlamış; Bursa, yap-sat ve toplu konut üretimi aracılığıyla doğu-batı yönünde genişlemeyi sürdürmüştür. Bu dönemde Bursa'da gerçekleşen hızlı kentleşme şehrin batısında yeni toplu konut alanlarının oluşmasına ve kent merkezinin öneminin azalmasına sebebiyet vermiştir (Karakurt-Tosun, 2007; Batuman ve Erkip, 2017). Şehrin batısında genellikle 4-5 katlı bloklardan oluşan konut siteleri kooperatif sistemi esas alınarak inşa edilmiştir. Çalışma kapsamında ele alınan Ataevler Mahallesi bu dönemde yapılanmış konut mahallelerinden birisidir (Şekil 1).

90'lı yıllarda devletin sağladığı mali teşviklere bağlı olarak şehrin batısında planlı konut gelişim çalışmaları devam etmiştir. 2000'li yıllardan sonra kuzey, güney, doğu ve batı bölgelerinde doğal eşiklere neredeyse ulaşan Bursa şehrinde kentsel dönüşüm projeleri uygulanmaya başlamıştır (Güler ve Ünverdi, 2019).

Ele alınan Örneklem Alan (ÖA), 1988 yılında inşa edilmiş ve 2015 yılından sonraki süreçte Ataevler mahallesindeki birçok yapıyla (yaklaşık 337 adet bina) birlikte kentsel dönüşüm uygulamasına konu olmuştur. ÖA Ata Bulvarı'na cephe, Bursa Organize Sanayi Bölgesi ve

İzmir-Ankara karayoluna çok yakın konumdadır (Şekil 1). ÖA'da ilk bölümde plan tipolojisi ve iç tasarım, yerleşim planı ve fiziksel özellikler dikkate alınarak dönüşüm süreci incelenmiştir. Çalışmanın ikinci bölümünde semantik segmentasyon analiziyle ÖA'nın yakın çevresindeki açıklık, yeşil doku ve imgelenebilirlik algısının kentsel dönüşüm öncesi ve sonrası tespiti için ÖA yakın çevresinde 50 metre aralıklı 27 gözlem istasyonu tanımlanmıştır (Şekil 2).



Şekil 2. Ataevler Mahallesinde seçilen Örneklem Alan ve Çevresindeki Gözlem İstasyonları

2.2. Yapı Ölçeğinde Kentsel Dönüşümün Analizi: Mimari ve Mekânsal Parametreler

Çalışmanın yapı ölçeğindeki tespitleri yapı içi ve fiziksel özellikleri ile yapının kentsel arayüz ilişkilerini tanımlayan yapı çevresi özelliklerinin kentsel dönüşüm öncesi ve sonrası analizlerine dayanmaktadır.

Yapı içi ve fiziksel özellik kentsel dönüşüm öncesi ve sonrası analizleri; tipoloji ve kat planı, düşey sirkülasyon ve çekirdek, cephe ve malzeme dili ve kullanıcı konforu kıstaslarına dayandırılmıştır.

Yapı çevresi kentsel dönüşüm öncesi ve sonrası analizleri; parsele yerleşim kararları, imar ve gabari değişimi, yapı sokak ilişkisi, açık ve yarı açık alanlar, otopark çözümleri gibi ölçütler üzerinden irdelenmiştir.

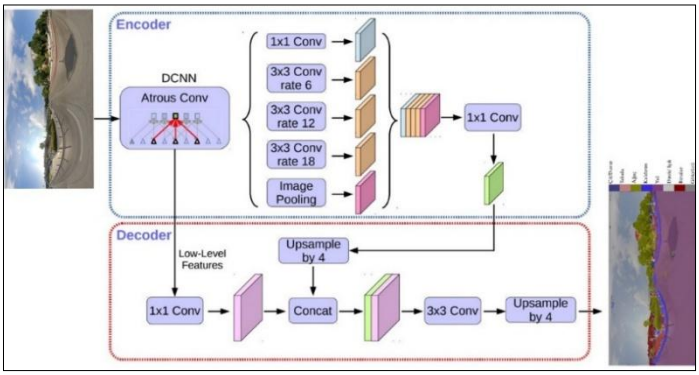
2.3. Kentsel Çevrenin Semantik Segmentasyon Yöntemiyle Analizi

Çalışmada kullanılan semantik segmentasyon tekniği kentsel dönüşüm öncesinde ve sonrasında çekilmiş panoramik sokak görüntüsü fotoğraflarının piksel düzeyinde analiz edilmesine dayanmaktadır. Bu yöntem, görüntüleri anlamsal içeriklerine göre farklı bileşenlere ayırmak ve ayrılan bileşenleri farklı sınıf etiketlerine atamak için yapay zeka destekli derin öğrenme (deep learning) algoritması kullanmaktadır. Kent görüntüleri üzerinde piksel düzeyinde yapılan analizler belirlenen ölçüm parametrelerinin değerlendirilmesine olanak sağlamaktadır.

İlk adım olarak ÖA yakın çevresine ait sokaklarda yaklaşık 50 metre aralıklı gözlem istasyonları tayin edilmiştir (Şekil 2). Çalışma dahilinde açıklık (openness), yeşil doku (greenery) ve imgelenebilirlik (imageability) parametreleri kentsel dönüşüm öncesi ve sonrası olarak ÖA yakın çevresinde ölçülmeye çalışılmıştır. Kentsel alan kalitesinin ölçülebilmesi için belirlenen parametreleri tanımlayacak gökyüzü, binalar, yollar, kaldırımlar, ağaçlar, tabelalar,

çitler gibi bileşenler piksel boyutunda kentsel dönüşüm öncesine ve sonrasına ait panoramik sokak görüntüleri üzerinden tespit edilmiştir.

Çalışmada kullanılan mekansal kalite parametreleri, elde edilen bileşen oranlarına bağlı olarak literatürdeki formüller dahilinde hesaplanmıştır (Ma ve diğ., 2021; Gönül & Selen, 2025). Çalışmada, DeepLabV3+ mimarisi MATLAB (R2021a) çerçevesine entegre edilerek kent görüntülerinin anlamsal bölütleme analizleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). DeepLabV3+ mimarisi, araç içerisinden çekilmiş kent görsellerinden oluşan "The Cambridge-Driving Labeled Video Database (CamVid)" veri setiyle eğitilmiştir (Brostow ve diğ., 2009).



Şekil 3. DeepLabV3+ mimarisi

3. ARAŞTIRMA ve BULGULAR

3.1. Mimari Ölçekteki Değişimin Değerlendirmesi

3.1.1.Mimari Tipoloji ve İç Mekan Tasarımının Değişimi

Çalışma kapsamında ele alınan ÖA kentsel dönüşüm uygulamasından önce balkon ve koridorlar dahil ortalama 88 metrekare büyüklüğünde 312 daireden oluşmaktadır. 312 daire 26 farklı yapı bloğuna eşit olarak dağıtılmış ve her bir daire 3 oda ve 1 salona sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Bloklarda her bir katta 3 daire bulunmakta ve dairelere bir merdiven ve bir asansörle ulaşım sağlanmaktadır (Şekil 4).

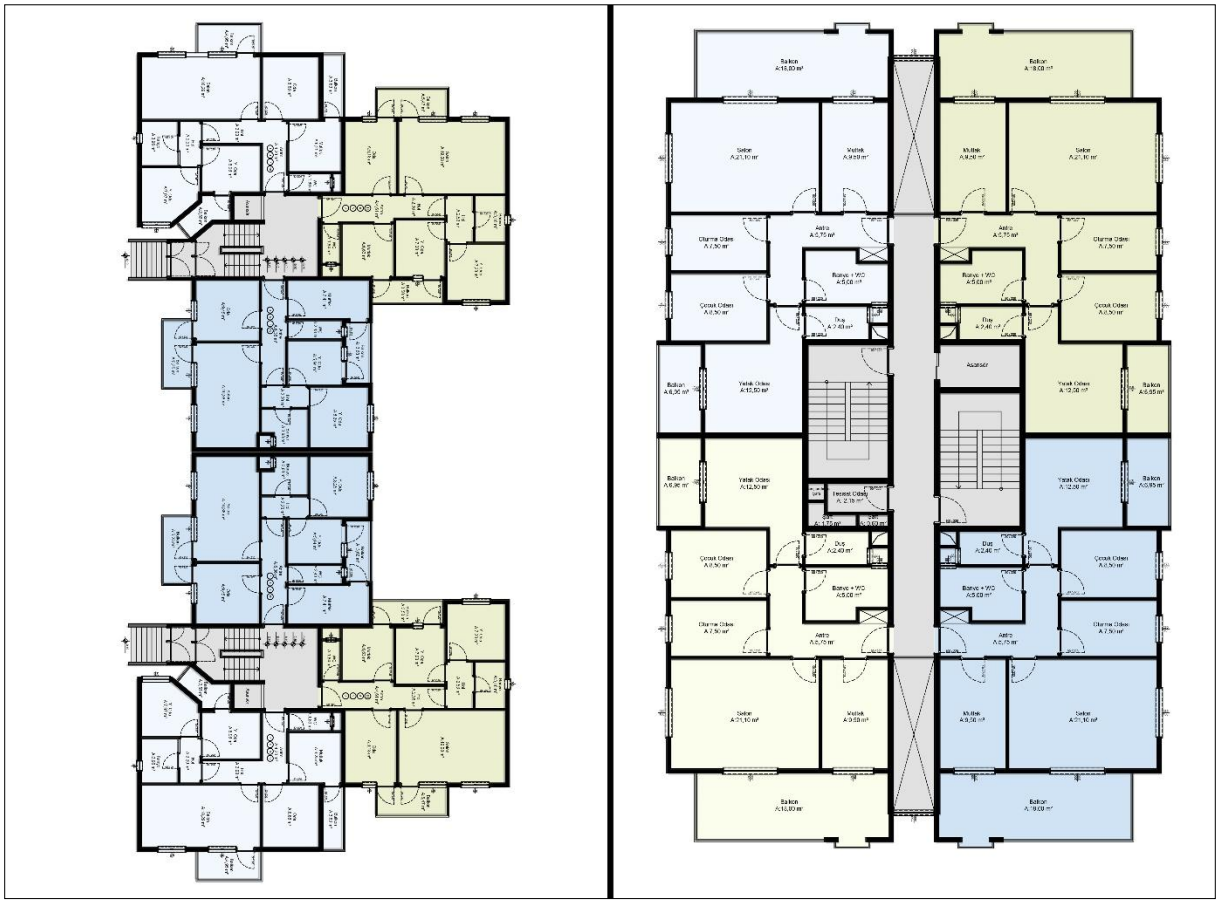
Dairelerde yer alan mutfak, salon ve yatak odası bölümleri kentsel dönüşüm sonrasında inşa edilen aynı mahallere göre alan büyüklüğü olarak daha küçüktür ve hacimler birbirinden duvarlar aracılığıyla açıkça ayrılmıştır (Tablo 1). Daire girişlerinde yer alan mutfak, salon, oturma odası ve misafir tuvaleti birimleri genel kullanım alanı olarak tasarlanmıştır. Yatak odaları ve banyolar gibi özel kullanım alanları, genel kullanım alanlarından bir kapı ile ayrılmıştır. Kullanıcıların genel kullanım alanları olarak tanımlanabilecek oturma odası ve salon birimleri balkonlarla dolayısıyla blokların dış kısmında düşünülmüş bahçe peyzajıyla bütünleştirilmiştir (Şekil a).

Tablo 1. Kentsel Dönüşüm Öncesi ve Sonrası ÖA'da Ortalama Daire ve Birim Alanları

MAHALLER	Dönüşüm Öncesi (m^2)	Dönüşüm Sonrası	
	Daire Planı (3+1)	Daire Planı (3+1)	Dubleks Planı (4+1)
Salon	18.30 m^2	21 m^2	38 m^2
Mutfak	6,25 m^2	9,80 m^2	9,80 m^2
Giriş + Koridor	7,20 m^2	7,95 m^2	23,5 m^2
Ana Yatak Odası	8,70 m^2	12,50 m^2	22,55 m^2
Oturma Odası	8,00 m^2	7,50 m^2	11,20 m^2
Yatak Odası	7,00 m^2	8,50 m^2	15,20 m^2
Yatak Odası	-	-	18,40 m^2

Banyo	3,98 m²	5,00 m²	5,80 m²
Misafir WC	1,85 m²	-	3 m²
Ebeveyn Banyo	-	2,40 m²	4 m²
Giyinme Odası	-	-	10 m²
Balkon 1	4,95 m²	18 m²	18 m²
Balkon 2	3,63 m²	6,95 m²	7 m²
Teras	-	-	14,50 m²
TOTAL	**61,28 m²+8,58 m² Balkon**	**74,65 m²+24,95 m² Balkon**	**161,45 m²+39,5 m² Balkon/Teras**

Kentsel dönüşüm uygulamasının gerçekleşmesinden sonra ÖA balkon ve hol payları dahil olmak üzere 130 metrekare büyüklüğünde üç oda ve bir salona sahip dairelere dönüştürülmüştür. Site içerisindeki blok sayısı 23'ten 13'e düşerken, daire sayısı 312'den 416'ya yükselmiştir. Bloklarda her bir katta 4 daire bulunmakta ve katlardaki dairelere asansör, merdiven ve yangın merdiveni ile ulaşım sağlanmaktadır. Kentsel dönüşüm sonrasında uygulanan mimari planda genel kullanım alanlarının özel kullanım alanlarından ayrıldığı gözlemlenmektedir. Her bir daire ortalama 18 metrekare büyüklüğünde balkonlara sahiptir. Özel kullanım alanlarından biri olan ebeveyn yatak odasına ayrı bir duş alanı eklenmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Örneklem Alanda kentsel dönüşüm öncesi (solda) ve sonrası (sağda) kat planları

Kentsel dönüşüm uygulamasından önce, çatı katları üst kat dairelerine ek olarak yaşam alanı olarak kullanılmamaktadır. Dönüşüm çalışmalarının ardından, çatı katı üst kattaki dairelere ek

olarak (dubleks) yaşam alanı olarak kullanıma açılmıştır. Bu sebeple her bir bloğun en üst katındaki plan tipleri dört oda ve bir salon olmak üzere değişmiştir. Çatı katında yer alan daireler site içerisindeki normal katta yer alan dairelere göre alan anlamında oldukça geniştir. Çatı katındaki dairelerde ebeveyn yatak odalarında giyinme odası ve duşlu bir banyo da bulunmaktadır. Mimari plan tipolojisindeki en belirgin farklılık giyinme odası ve ebeveyn banyosunun ana yatak odasına eklenmiş olmasıdır.

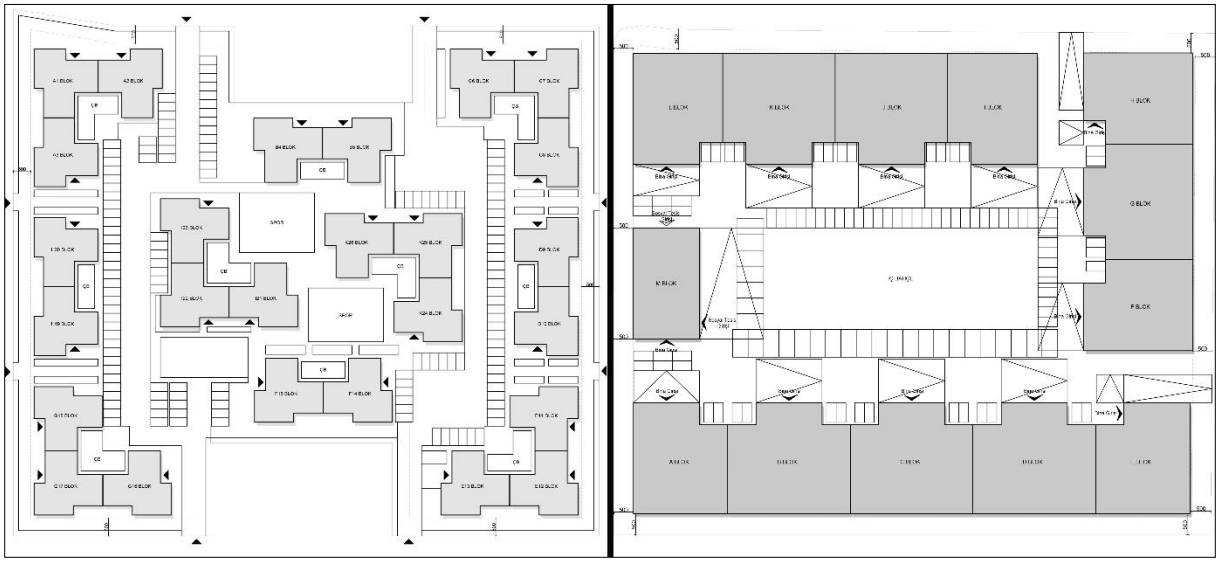
Kentsel dönüşüm uygulamasının ardından ÖA içerisindeki dairelerin alan büyüklüklerinde bir artış yaşanmıştır. Salon, mutfak ve yatak odalarında küçük bir alan artışı gözlemlense de daire alanındaki asıl büyüme balkon alanlarından kaynaklanmaktadır. Kentsel dönüşüm öncesinde dairelerde misafir tuvaleti bulunurken, kentsel dönüşüm sonrasında dairelerdeki ana yatak odalarına ebeveyn banyosu eklenmiştir. Kentsel dönüşüm sonrasında toplam bina yüksekliği arttığı için binalar yüksek katlı bina sınıfına dahil edilmiş ve bu nedenle her blokta yangın merdiveni inşa edilmiştir. Kentsel dönüşümün ardından asansörün alanı 1.70 metrekareden 4.50 metrekareye artış göstermiştir. Kentsel dönüşüm öncesinde sadece konutlardan oluşan ÖA, dönüşüm sonrasında dükkanlar ve ofisler inşa edilerek daha geniş bir taban alanına yayılmıştır. Ayrıca, ÖA içerisinde 555 araç kapasiteli kapalı otopark önerilmiş ve kapalı yüzme havuzunu da içeren yaklaşık 500 metrekarelik sosyal alanlar tasarlanmıştır. Bu bağlamda, ÖA kentsel dönüşüm öncesinde konut işlevi görürken, yenileme sonrasında karma kullanım işlevli bir yapıya evrilmiştir. Karma kullanım işlevi, ÖA içerisinde yaşamayan dışarıdan gelen kullanıcıların da konut alanına girebilmesini sağlamıştır. Bu duruma bağlı olarak ÖA içerisinde ve yakın çevresinde ek bir yaya ve araç yoğunluğu oluşacağı öngörülebilir.

3.1.2.Yerleşim Kararları ve Yapıların Fiziksel Özellikleri

ÖA'nın seçilmiş olduğu Bursa Ataevler Mahallesi, kentsel dönüşümün parseller üzerinde ayrı ayrı gerçekleştirildiği konut yoğunluklu bir yerleşim bölgesidir. Diğer bir deyişle; kentsel dönüşüm uygulaması esnasında bina arsalarının dışındaki unsurlar (sokaklar, kaldırımlar, yeşil alanlar, okul alanı vb.) aynı kalmış, sadece arsaların içindeki binalar ve sosyal alanlar değişime uğramıştır. ÖA, kentsel dönüşüm öncesinde 1.65 emsal değerine sahip ve en çok yapı yüksekliği 15.50 metre yapılanma koşullarına tabi iken; imar planına eklenen plan notuna istinaden kentsel dönüşüm uygulaması 2.15 emsal ve en çok yapı yüksekliği 27.50 metre şartlarına göre gerçekleştirilmiştir. Bu duruma bağlı olarak, ÖA'da dönüşüm çalışmalarının ardından daha yüksek ve kullanıcı sayısı daha fazla olacak binalar inşa edildiği anlaşılmaktadır.



Şekil 5. Örneklem Alanın kentsel dönüşüm öncesi (solda) ve sonrası (sağda) genel görünümü
ÖA kentsel dönüşümden önce 5 katlı 26 binadan oluşmaktayken kentsel dönüşüm uygulaması sonrasında binalar 8 kata yükseltilmiştir. Ayrıca dönüşümden sonra blokların altında iki bodrum kat (bir tanesi toprak altında kalmak üzere) ve blokların en üst katlarına çatı piyesleri inşa edilmiştir. Genel işlevi kapalı otopark ve ticari birimler olarak tasarlanan bodrum katları, bir kaide görevi üstlenerek on üç bloğu birbirine bağlamıştır (Şekil 5).



Şekil 6. Kentsel dönüşüm öncesi (solda) ve sonrası (sağda) Örneklem Alanda vaziyet planı yerleşimleri

Tablo 2. Kentsel Dönüşüm Öncesi ve Sonrası ÖA için bazı kentsel ve mimari verilerin karşılaştırılması

PARAMETRELER	ÖNCESİ	SONRASI
Blok Sayısı	26	13
Her Bloktaki Kat Başına Düşen Daire Sayısı	3	4

Emsal Değeri (KAKS)	1,65	2,15
Yapı Yüksekliği	15,50 m	27,50 m
Taban Alanı Kat Sayısı (TAKS)	0,40	0,50
Parsel Üzerindeki Toplam Yapılanma Alanı	6900 m²	14940 m²
Yeşil Doku ve Sosyal Donatı Alanı Olarak Kullanılabilecek Açık Alan Büyüklüğü	10740 m²	2700 m²
Parsel Alanı	17640 m²	17640 m²
Yeşil Alan / Parsel Alanı Oranı	%60	%15
Brüt Konut Yoğunluğu (İnsan/Hektar)	734 insan/hektar	1010 insan/hektar
Toplam İnşaat Alanı	19726,79 m²	34650 m²

ÖA'da kentsel dönüşüm öncesi ve sonrasında gözlemlenen önemli değişikliklerden biri de binaların parsel üzerinde kapladığı taban alan büyüklüğündeki farklılıktır. Kentsel dönüşüm uygulaması öncesinde 17640 metrekarelik arsa alanının yaklaşık 6900 metrekaresi yapıların taban alanı olarak kullanılırken, bu miktar dönüşüm sonrası 14940 metrekareye ulaşmıştır. Bu veriler, parsel üzerinde yeşil alan ve sosyal donatı alanı olarak ayrılan açık alan miktarında dramatik bir düşüş meydana geldiğini göstermektedir (Şekil 6). Kentsel dönüşüm öncesinde 312 daireden oluşan ÖA'daki konut kompleksi, dönüşümün ardından 416 daireye ulaşmıştır. Bu durumda, ÖA için brüt konut yoğunluğunun hektar başına 734 kişiden 1010 kişiye çıktığı anlaşılmaktadır (Tablo 2) (Aysu, 2002).

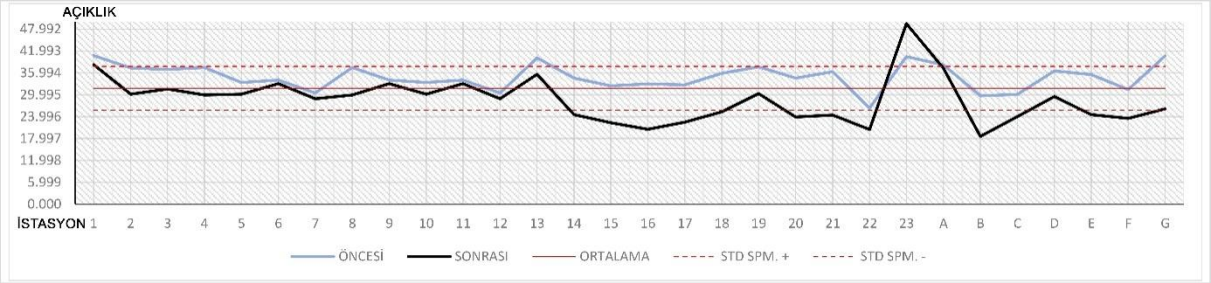
3.2. Semantik Segmentasyon Tekniğiyle Kentsel Dönüşüm Alanının Yakın Çevresindeki Değişimin Değerlendirilmesi

Son on yıllık süreçte kentsel dönüşüm uygulamalarıyla radikal bir değişime uğrayan Bursa Ataevler Mahallesindeki değişim açıklık (openness), yeşil doku (greenery) ve imgelenebilirlik (imageability) parametrelerine bağlı olarak incelenmiştir. Çalışma alanı olarak belirlenen örneklem kentsel dönüşüm parseli çevresinde ortalama 50 metre aralıklı 28 adet gözlem istasyonu belirlenerek kentsel dönüşüm uygulaması öncesi ve sonrasında bu istasyonlardan panoramik sokak görüntüleri Google Street View aracılığıyla temin edilmiştir.

Örneklem kentsel dönüşüm alanı çevresinde belirlenen çalışma istasyonlarından 2026 ve 2014 yıllarına ait panoramik sokak görüntüleri alınarak gökyüzü, binalar, yollar, kaldırımlar, ağaçlar ve bodur bitkiler, tabelalar, çitler olarak anlamsal bölütleme yaptırılmış ve piksel bileşenlerine ayrılmıştır. Sınıflandırma işlemi, görüntüleri piksel düzeyinde analiz eden ve her bir görsel bileşene farklı bir renk etiketi atayan DeepLabV3+ anlamsal bölütleme mimarisi kullanılarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3). Bu unsurlar daha sonra belirlenen indikatörleri oluşturmak için literatürdeki formüller dahilinde sentezlenmiştir (Ma ve diğ., 2021; Gönül ve Selen, 2025). Her bir çalışma istasyonu için hem bileşen hem de seçilen parametre değerleri için 2026 ve 2014 yıllarına ait genel ortalama, standart sapma, maksimum ve minimum değerleri elde edilmiştir. Ardından, her bir çalışma istasyonunun 2026 ve 2014 yılı açıklık (openness), yeşil doku (greenery) ve imgelenebilirlik (imageability) değerleri ve değişimleri Şekil 7,8,9'daki

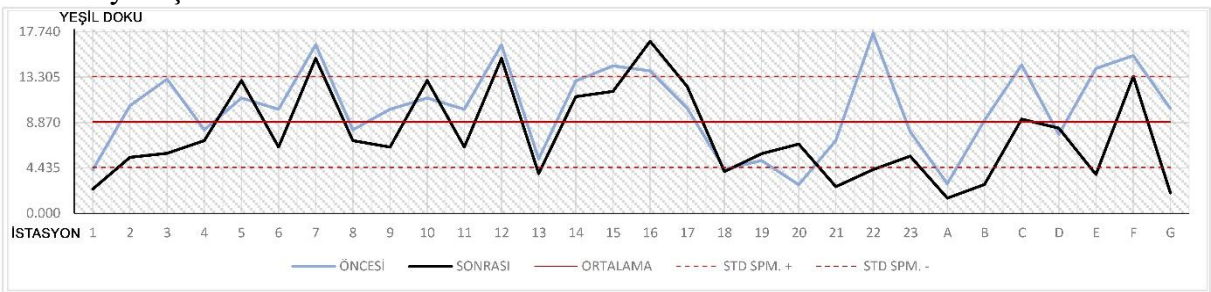
grafiklerde sırasıyla yer almaktadır. Her bir istasyon ve yıllar arasında karşılaştırmalı bir analiz yapabilmek için grafikler üzerinde genel ortalama, pozitif ve negatif standart sapma değerleri de yer almaktadır. Grafikler üzerindeki parametre değerlerine bağlı olarak örneklem Ataevler mahallesinde kentsel dönüşüm öncesi ve sonrası yürünebilirlik ve canlılık durumlarına ilişkin yorumlar yapılabilmektedir.

Çalışma alanı olan Bursa Ataevler Mahallesinde değişim öncesi ve sonrasını yansıtan mekansal kalite parametrelerine ait veri dağılımları Şekil 7, 8, 9'daki grafiklerde sırasıyla gösterilmiştir. Semantik segmentasyon analiz verilerine göre, günümüz açıklık verileri değişim öncesine göre neredeyse her istasyonda düşüş göstermiştir (Şekil 7). Açıklık değerindeki bu azalış çalışma alanı içerisinde gerçekleştirilen alçak katlı yapıların yıkılarak yerine daha yüksek katlı yapıların inşa edilmesiyle açıklanabilir. Ayrıca kentsel dönüşüm parsellerindeki yapı yoğunluklarındaki artışlar da açıklık etkisini azaltmıştır.



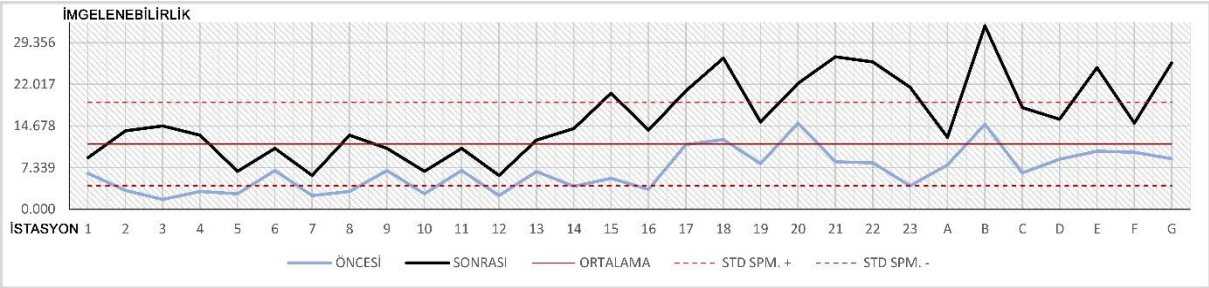
Şekil 7. Semantik Segmentasyon verilerine göre 2026 ve 2014 yıllarına ait "Açıklık (Openness)" etkisi grafiği

Semantik segmentasyon analiz sonuçları çalışma istasyonlarının yarıya yakınında yeşil doku değerlerinin kentsel dönüşüm öncesine göre benzer eğilimler gösterdiğini işaret etmektedir (Şekil 8). Ancak 1, 2, 3, 21, 22, 23, B, C, E, F, G istasyonlarında yeşil doku değeri ciddi bir oranda azalmış hatta ortalamanın altında kalarak yeşil doku standart sapma değerlerine yaklaşmıştır (Şekil 8). Elde edilen bu sonuç parsel bazlı dönüştürülen alanlarda taban alanlarının azalması ve peyzaj düzenlemeleri yerine otopark yapılması ya da bina inşa edilmesiyle açıklanabilir.



Şekil 8. Semantik Segmentasyon verilerine göre 2026 ve 2014 yıllarına ait "Yeşil Doku (Greenery)" etkisi grafiği

Semantik segmentasyon analiz sonuçlarına göre algılanabilir imgelenebilirlik etkisinin değişim öncesine göre tüm istasyonlarda arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 9). İmgelenebilirlik etkisindeki bu artışın yıkılan yapılar yerine daha yüksek ve gabarisi büyük yeni yapılar inşa edilmesi ve var olan ticari ya da yönlendirici tabela sayısındaki artışla açıklanması olasıdır. Parseller üzerinde yeni peyzaj ve çevre düzenlemeleri sınırlı kaldığından imgelenebilirlik değerinde etkili olamamıştır.



Şekil 9. Semantik Segmentasyon verilerine göre 2026 ve 2014 yıllarına ait "İmgelenebilirlik (Imageability)" etkisi grafiği

4. SONUÇ

Çalışmada, Bursa Ataevler Mahallesi'ndeki kentsel dönüşüm uygulamaları, mimari ve yakın kentsel çevre ölçeklerinde gerçekleştirilen iki aşamalı bir analiz yaklaşımıyla değerlendirilmiştir. Gerçekleştirilen kentsel dönüşüm uygulaması; bina kütlesi boyutları, toplam inşaat alanları ve nüfus yoğunluğu üzerinde önemli değişiklere sebebiyet vermiştir. Yerel yönetimin kentsel dönüşümü teşvik etmek için aldığı yasal kararlar mahalledeki yapılarda öncesine göre iki kata varan yükselmeler ortaya çıkarmıştır. Bu yüksekliklere ek olarak çatı katlarının da yapılaşmaya dâhil edilmesiyle, mahallede dönüşüm öncesinde hâkim olan düşük yoğunluklu ve geçirgen mekânsal doku, yerini daha yoğun ve büyük yapı gabarisine sahip bir kentsel dokuya bırakmıştır.

Kentsel dönüşüm sürecinde, yer altı otoparkları nedeniyle bahçe-bina ilişkileri de yeniden şekillenmiştir. Yapı bahçeleri, araç giriş-çıkışları ve kapalı otopark imalatı dikkate alınarak tasarlandığı için, bahçelerdeki yeşil alanlar orantılı olarak azalmıştır. Çoğunlukla konut pazarlaması için dönüşüm sonrası bahçelerde inşa edilen yüzme havuzu gibi yeni peyzaj unsurları bahçe imajını ve işlevini kökten değiştirmiştir. Parsellerde yer alan bahçeler, pazarlama odaklı düzenlemeler sonucunda yapay bir görünüme bürünürken, dönüşüm öncesinde mevcut olan doğal unsurlar ve mahalle sakinleri arasındaki sosyal etkileşime dayalı mekânsal kullanım alışkanlıkları önemli ölçüde değişime uğramıştır.

Yenilenen arsalarda talep üzerine konutların zemin katına mevzuat düzenlemesiyle ticari fonksiyon eklenmesi bölgede yaşam alışkanlıklarını değiştiren diğer bir önemli konudur. Bu tür ticari uygulamalar mahallede karma kullanımlı bir tipoloji yaratmış ve araç yoğunluğu bakımından sorunlar ortaya çıkarmıştır. Daha da önemlisi, yapı yoğunluğunu artıran bu tür ticari fonksiyon eklentileri arazi kullanımını teknik ölçütler doğrultusunda düzenleyen planlama kararlarının sürekliliğini de olumsuz yönde etkilemektedir.

Mahallede artan nüfus yoğunluğuna karşılık yeşil alanlarda ve sosyal donatı alanlarında herhangi bir artış gözlemlenmemiştir. Söz konusu durum, Türkiye'deki kentlerde halihazırda gözlemlenen sosyal olanak yetersizliğini daha da derinleştirecektir.

Ataevler Mahallesi'nde gerçekleştirilen kentsel dönüşüm uygulamaları, parsel ölçeğinde ve deprem riskini öncelik alan müdahalelerdir. Söz konusu yaklaşım, dönüşüm sürecinin bütüncül bir mekânsal kurgudan ziyade parçalı bir nitelik taşıdığına işaret etmektedir. Parsel ölçeğindeki müdahaleler, kentsel mekânın teknik ve sosyal altyapı yönünden bütüncül biçimde iyileştirilmesine imkân tanımamakta; bu durum, dönüşümün öngörülen yaşam kalitesi hedefine ulaşmasını engellemektedir.

KAYNAKÇA

Akkar, Z. M. (2006). Kentsel dönüşüm üzerine Batı'daki kavramlar, tanımlar, süreçler ve Türkiye. Journal of Planning, (2), 29–38.

Aysu, E. (2002). Şehir planlamasında *yoğunluk*. İstanbul: Yıldız Teknik Üniversitesi Yayınları.

Çizakça, M. 1980. A Short History of the Bursa Silk Industry (1500-1900). *Journal of the Economic and Social History of the Orient,* 23(1/2), 142-152.

Bartu-Candan, A., Kolluoglu, T. (2008) Emerging Spaces of Neoliberalism: A Gated Town and a Public Housing Project in İstanbul. *New Perspectives on Turkey*, 39, 5-46. https://doi.org/10.1017/S0896634600005057.

Batuman, B., Erkip, F. 2017. Urban Design-or Lack thereof-as Policy: The renewal of Bursa Doğanbey District. *Journal of Housing and the Built Environment,* 32(4), 827-842. https://doi.org/10.1007/s10901-017-9542-9

Brostow, G. J., Fauqueur, J. & Cipolla, R. (2009). Semantic object classes in video: A high-definition ground truth database. Pattern Recognition Letters, 30(2), 88-97. https://doi.org/10.1016/j.patrec.2008.04.005.

Gao, L., Xiang, X., Chen, W., Nong, R., Zhang, Q., Chen, X., and Chen, Y. (2024) Research on urban street spatial quality based on street view image segmentation. Sustainability 16(16): 7184. Sustainability 2024, 16(16), 7184. https://doi.org/10.3390/su16167184.

Gönül, A. ve Durak, S. (2025). On measuring the change in historical city centres: an attempt at comparing human perception and deep learning through visual quality of street space. *Multimedia Tools and Applications*, 84(32), 39283-39305. https://doi.org/10.1007/s11042-025-20642-3

Güler, Z.E., Ünverdi, L. (2019) Instrumentalization of Planning Within the Scope of Decentralization, Simplification, Deregulation and Re-Regulation Policies; the Impact of Parcel-scale Plan Amendments for Risky Buildings Upon Urban Space in Bursa. *Journal of* Planning, 29(3), 210-228. https://doi.org/10.14744/planlama.2019.42650

Güzey, Ö. (2014) Neoliberal Urbanism Restructuring the City of Ankara: Gated Communities as A New Life Style in A Suburban Settlement. *Cities*, 36, 93-106. https://doi.org/10.1016/j.cities.2013.10.005.

Hao, W., Shi, J., Xie, X., Mei, L., Meng, Y., and Sun, D. (2026) An evaluation of the visual quality of coastal urban spaces based on street view images and machine learning: a case study of Shinan district, Qingdao. Environmental Research Communications 8(8): 085012. https://doi.org/10.1088/2515-7620/ae8a1f.

Isikkaya, A.D. 2016. Housing Policies in Turkey: Evolution of TOKI (Governmental Mass Housing Administration) as an Urban Design Tool. *Journal of Civil Engineering and Architecture.* 10(2016): 316-326. https://doi.org/10.17265/1934-7359/2016.03.006

İlkme, M. (2008) Kentsel Dönüşüm ve Bursa Raporu. Şehir Plancıları Odası Bursa Şubesi, Bursa.

Ma, X., Ma, C., Wu, C., Xi, Y., Yang, R., Peng, N., Zhang, C., ve Ren, F. (2021). Measuring human perceptions of streetscapes to better inform urban renewal: A perspective of scene semantic parsing. *Cities*, 110, 103086. https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.103086

Karakurt-Tosun, E. (2007) *Küreselleşme Sürecinde Kentlerde Mekânsal, Sosyal ve Kültürel Değişim: Bursa Örneği.* [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. Bursa Uludağ Üniversitesi.

Kısar Koramaz, E., Koramaz, T.K., & Özer, Ö. (2018) Urban Transformation through Property-Led Regeneration: A Case of Building Renewals in İstanbul. *AZ ITU Journal of the Faculty of Architecture*, 15(2), 183-196. https://doi.org/10.5505/itujfa.2018.95815

Levent T. (2018). Regeneration or Degeneration? An untold story of urban change in Turkish metropolitan cities. *Athens Journal of Mediterranean Studies*, 4(4), 321-336. https://doi.org/10.30958/ajms.4-4-4

UNESCO. (2014). Bursa and Cumalıkızık: The Birth of the Ottoman Empire, UNESCO World Heritage CENTRE. https://whc.unesco.org/en/list/1452. Erişim Tarihi: 05.10.2026.

Tekeli, İ. (1998) Türkiye'de Cumhuriyet Döneminde Kentsel Gelişme ve Kent Planlaması: *75 Yılda Değişen Kent ve Mimarlık*, Editor: Sey, Y., Tarih Vakfı Yayınları, İstanbul, Türkiye, pp: 106-134.

Tekeli, İ. (2011) Geleneksel Değerler Evlerde de Apartmanlarda da Üretilebilir. *Mostar,* (74), 32-37.

Tomruk, B. (2010) *Bursa'nın 2000-2010 arası Yeniden Yapılanmasında Kentsel Söylem Üzerinden Dönüşüm Notları*. [Yayımlanmamış Doktora Tezi]. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Tutar, Ö., Bal, E. (2019). Transformation of the Space in the context of Neoliberal Urbanization: The Case of Izmir New City Centre, Turkey. *International Journal of Architecture & Planning.* 7(2), 428-459. https://doi.org/10.15320/ICONARP.2019.94

Türkiye İstatistik Kurumu (2025). Adrese Dayalı Nüfus Kayıt Sistemi Sonuçları. veriportali.tuik.gov.tr. Erişim Tarihi: 05.10.2026.

FARKLI AĞAÇ TÜRLERİNİN ANTİOKSİDAN KAPASİTELERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI

Dr. Öğr. Üyesi Taner İlker GÜMRÜKÇÜOĞLU
Gümüşhane University, Kürtün Vocational School, Department of Property Protection and Security, 29810 Kürtün, Gümüşhane
ORCID ID: 0000-0002-9453-602X

ÖZET
Bitki kaynaklı antioksidanlar, reaktif oksijen türlerinin (ROS) neden olduğu oksidatif stresin yapısında önemli rol oynar. Gıda, ilaç ve kozmetik ürünlerinde doğal biyoaktif kirletici olarak kullanılır. Bu çalışmada, Türkiye'de yaygın olarak yetişen dört ağaçtan (*Quercus robur, Pinus sylvestris, Fagus orientalis* ve *Tilia platyphyllos*) elde edilen ekstraktların antioksidan kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Her türden beş sağlıklı bireyin yaprakları (*P. sylvestris*'te iğne yaprakları) Bolu, Erzurum, Artvin ve Kastamonu illerinden toplanmış, gölgede kurutulmuş ve %80'lik metanol ile 24 saat ekstrakte edilmiştir. Toplam fenolik madde (TFM) miktarı Folin-Ciocalteu yöntemiyle, serbest radikal süpürme aktivitesi DPPH ve indirgeme gücü ise FRAP testleriyle belirlendi. Veriler tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ve Tukey HSD çoklu karşılaştırma testiyle değerlendirildi. *Tilia platyphyllos*, 110 ± 3 mg GAE g^{-1} TFM, %75 ± 2 DPPH süpürme aktivitesi ve 411 ± 12 µmol Fe^{2+} g^{-1} FRAP değerlerinde tüm etkilerde en yüksek antioksidan kapasiteyi gösterdi ($p < 0,001$). Bu türü sırasıyla *F. orientalis* ve *Q. robur* izlemiş; *P. sylvestris* ise 73 ± 2 mg GAE g^{-1} TFM ve %55 ± 2 DPPH değeriyle en düşük değerlere sahip olmuştur. TFM ile DPPH ($r = 0,92$) ve FRAP ($r = 0,89$) arasında güçlü pozitif bir ilişki bulundu. Fenolik bileşiklerin antioksidan kapasitesinde belirleyici faktör olduğu tespit edildi. Farklı yetiştirme ortamlarından alınan örnekler, tür etkisini ekolojik etkilerden net bir şekilde ayırmaya olanak tanımamaktadır. *T. platyphyllos* yapraklarının fonksiyonel gıdalar ve dermokozmetik alanlar için umut vadeden doğal bir antioksidan kaynağı olabileceği sonucuna varılmıştır.
Anahtar kelimeler: Antioksidan kapasite, toplam fenolik madde, DPPH, FRAP, yaprak ekstraktı, Tukey HSD.

COMPARISON OF ANTIOXIDANT CAPACITIES OF DIFFERENT TREE SPECIES

ABSTRACT
Plant-derived antioxidants play an important role in reducing oxidative stress caused by reactive oxygen species (ROS) and are regarded as natural bioactive ingredients for the food, pharmaceutical, and cosmetic industries. This study aimed to compare the antioxidant capacities of leaf extracts from four widespread tree species in Türkiye: *Quercus robur, Pinus sylvestris, Fagus orientalis*, and *Tilia platyphyllos*. Leaves (needles in *P. sylvestris*) from five healthy individuals per species were collected in the provinces of Bolu, Erzurum, Artvin, and Kastamonu, shade-dried, and extracted with 80% methanol for 24 h. Total phenolic content (TPC) was determined by the Folin–Ciocalteu assay, radical-scavenging capacity by the DPPH assay, and reducing power by the FRAP assay. The data were analysed using one-way analysis of variance (ANOVA) followed by Tukey's HSD post hoc test. *Tilia platyphyllos* showed the highest antioxidant capacity in all parameters, with 110 ± 3 mg GAE g^{-1} TPC, 75 ± 2% DPPH scavenging, and 411 ± 12 µmol Fe^{2+} g^{-1} FRAP ($p < 0.001$). It was followed by *F. orientalis* and *Q. robur*, whereas *P. sylvestris* had the lowest values (73 ± 2 mg GAE g^{-1} TPC; 55 ± 2% DPPH). The TPC and DPPH showed strong positive correlations ($r = 0.92$), and the TPC and

FRAP showed strong positive correlations (r = 0.89), showing the significant contribution of phenolic compounds to antioxidant capacity. However, since each species was collected from a different site, the results cannot fully disentangle species effects from environmental effects. The results reveal that foliage of *T. Platyphyllos* is a promising natural source of antioxidants for functional food and dermocosmetic applications.
Keywords: Antioxidant capacity, total phenolic content, DPPH, FRAP, leaf extract, Tukey HSD.

1. GİRİŞ

Oksidatif stres, hücrede reaktif oksijen türlerinin (ROS) üretimi ile antioksidan savunma sistemleri arasındaki dengenin ROS lehine bozulması olarak tanımlanmakta ve lipitlerin, proteinlerin ve nükleik asitlerin oksidatif hasarına yol açmaktadır (Pizzino ve ark., 2017). Bu hasarın kanser, kardiyovasküler hastalıklar ve nörodejeneratif bozukluklar gibi birçok kronik hastalığın gelişiminde rol oynadığı bildirilmektedir (Pizzino ve ark., 2017). Bu nedenle ROS'u etkisiz hâle getirebilen doğal antioksidan bileşiklerin belirlenmesi, sağlık bilimleri ve gıda teknolojisi açısından önemini korumaktadır.

Bitkiler, fenolik asitler, flavonoidler ve tanenler gibi fenolik bileşikleri sekonder metabolit olarak sentezler. Bu bileşikler, hidroksil gruplarının sağladığı hidrojen ya da elektron verme yeteneği sayesinde serbest radikalleri süpürebilmekte ve geçiş metali iyonlarını şelatlayabilmektedir (Quideau ve ark., 2011; Rice-Evans ve ark., 1997). Bitki fenoliklerinin ekstraksiyonu, analizi ve antioksidan özellikleri ayrıntılı biçimde derlenmiştir (Dai ve Mumper, 2010). Dolayısıyla bir bitki dokusunun fenolik madde içeriği, antioksidan kapasitesinin başlıca belirleyicilerinden biri olarak kabul edilmektedir.

Ağaç yaprakları, her yıl yenilenen büyük bir biyokütle oluşturmaları ve fenolik bileşikler bakımından zengin olmaları nedeniyle doğal antioksidan kaynağı olarak dikkat çekmektedir. Orman ağaçlarının yaprakları, orman ürünleri üretiminden arta kalan yenilenebilir bir biyokütle olarak değerlendirilebilecek potansiyel bir biyoaktif bileşik kaynağı olarak tanımlanmaktadır (Formato ve ark., 2021). Nitekim Avrupa kayını (*Fagus sylvatica*) yapraklarının, başta klorojenik asit grubu hidroksisinnamoil türevleri ve flavonoller olmak üzere zengin bir polifenol profiline ve doza bağlı antioksidan etkinliğe sahip olduğu gösterilmiştir (Formato ve ark., 2021). Saplı meşe (*Quercus robur*) ve *Q. petraea* yapraklarının, dal ve palamutlara kıyasla üstün antioksidan özellikler sergilediği bildirilmiştir (Popović ve ark., 2013). Büyük yapraklı ıhlamurun (*Tilia platyphyllos*) yaprak ve çiçek metanol ekstraktlarında fenolik madde içeriği ile DPPH ve FRAP aktiviteleri incelenmiştir (Kelmendi ve ark., 2020). İğne yapraklı türlerde ise iğne yaprağı ve kabuk ekstraktlarının fenolik içeriği ve antioksidan etkinliği karşılaştırılmıştır (Popescu ve ark., 2024).

Bununla birlikte, ulaşılabilen literatür kapsamında, geniş yapraklı ve iğne yapraklı farklı ağaç türlerinin yapraklarının aynı ekstraksiyon koşullarında ve aynı yöntem seti ile bir arada karşılaştırıldığı çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir. Türler arası karşılaştırmaların aynı protokolle yapılması hem bitkisel hammadde seçimi hem de ağaç türlerinin biyokimyasal farklılıklarının anlaşılması bakımından değer taşımaktadır.

Antioksidan kapasite tek bir yöntemle yeterince temsil edilemediğinden, farklı mekanizmalara dayanan birden fazla testin birlikte uygulanması önerilmektedir (Prior ve ark., 2005). Bu çalışmada toplam fenolik madde (TFM) miktarı Folin–Ciocalteu yöntemiyle (Singleton ve ark., 1999), serbest radikal süpürme aktivitesi DPPH yöntemiyle (Brand-Williams ve ark., 1995) ve indirgeme gücü FRAP yöntemiyle (Benzie ve Strain, 1996) belirlenmiştir.

Bu çalışma, *Quercus robur* (saplı meşe), *Pinus sylvestris* (sarıçam), *Fagus orientalis* (Doğu kayını) ve *Tilia platyphyllos* (büyük yapraklı ıhlamur) türlerinin yapraklarındaki antioksidan

kapasiteyi nicel olarak karşılaştırmayı amaçlamaktadır. Çalışmada şu sorulara yanıt aranmıştır: (i) TFM içerikleri türler arasında nasıl değişmektedir? (ii) DPPH ve FRAP sonuçları TFM ile paralellik göstermekte midir? (iii) İncelenen türler arasında en yüksek antioksidan kapasiteye sahip olan hangisidir?

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Bitki Materyali ve Örnekleme

Bitki materyali, Bolu (*Q. robur*), Erzurum (*P. sylvestris*), Artvin (*F. orientalis*) ve Kastamonu (*T. platyphyllos*) illerinde, 750–1800 m yükselti aralığında yetişen bireylerden toplanmıştır (Tablo 1). Her türden beş sağlıklı birey örneklenmiş ve Mayıs 2025'te her bireyden sağlıklı, tam olgun yapraklar alınmıştır; *P. sylvestris* için örnekler iğne yapraklardan oluşmaktadır. Örnekler gölgede 48 saat kurutulmuş, ardından 60 °C'deki etüvde nem oranı %5'in altına inene dek kurutularak stabil hâle getirilmiş ve havanda toz hâline getirilmiştir.

Tablo 1. Örneklenen ağaç türleri, toplama lokasyonları ve yükseklikleri (her tür için n = 5 birey)

Tür	Türkçe adı	Toplama yeri (il)	Yükseklik (m)	Aile
Quercus robur	Saplı meşe	Bolu	900	Fagaceae
Pinus sylvestris	Sarıçam	Erzurum	1800	Pinaceae
Fagus orientalis	Doğu kayını	Artvin	1400	Fagaceae
Tilia platyphyllos	Büyük yapraklı ıhlamur	Kastamonu	750	Malvaceae

2.2. Ekstraksiyon

Toz örneği 1 g'ı, 25 mL %80'lik (v/v) metanol ile 24 saat süreyle 150 rpm'de çalkalanmış; karışım 5000 g'de 15 dakika santrifüjlenmiş ve elde edilen süpernatant analizlerde kullanılmıştır. Sulu alkol karışımları, fenolik bileşiklerin ekstraksiyonunda yaygın olarak tercih edilen çözücü sistemleri arasında yer almaktadır (Dai ve Mumper, 2010).

2.3. Antioksidan Testleri

Ekstraktların toplam fenolik madde içeriği Folin–Ciocalteu yöntemiyle (Singleton ve ark., 1999) 765 nm'de ölçülmüş ve sonuçlar kuru madde (dm) esasına göre gallik asit eşdeğeri cinsinden (mg GAE g^{-1} dm) ifade edilmiştir. Serbest radikal süpürme aktivitesi, Brand-Williams ve ark. (1995) tarafından tanımlanan DPPH yönteminin modifiye edilmiş hâliyle 517 nm'de belirlenmiş ve yüzde süpürme (%) olarak ifade edilmiştir. İndirgeme gücü ise Benzie ve Strain (1996) tarafından geliştirilen FRAP yönteminin modifiye edilmiş hâliyle 593 nm'de ölçülmüş ve µmol Fe^{2+} g^{-1} dm cinsinden ifade edilmiştir. Üç yöntem, antioksidan kapasitenin farklı yönlerini (fenolik içerik, radikal süpürme ve indirgeme gücü) birlikte değerlendirmek üzere seçilmiştir (Prior ve ark., 2005).

2.4. İstatistiksel Analiz

Verilerin normal dağılımı Shapiro–Wilk testiyle (Shapiro ve Wilk, 1965), varyansların homojenliği ise Levene testiyle (Levene, 1960) kontrol edilmiştir. Türler arasındaki farklılıklar tek yönlü varyans analizi (ANOVA) ile, ikili karşılaştırmalar ise Tukey HSD testiyle (Tukey, 1949) değerlendirilmiştir (α = 0,05). TFM ile DPPH ve FRAP arasındaki ilişki Pearson korelasyon katsayısı ile incelenmiştir. Analizlerde Python 3.11 (pandas, scipy ve statsmodels kütüphaneleri) kullanılmış, sonuçlar SPSS v25 ile doğrulanmıştır. Sonuçlar ortalama ± standart sapma (SS) olarak verilmiştir (n = 5).

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

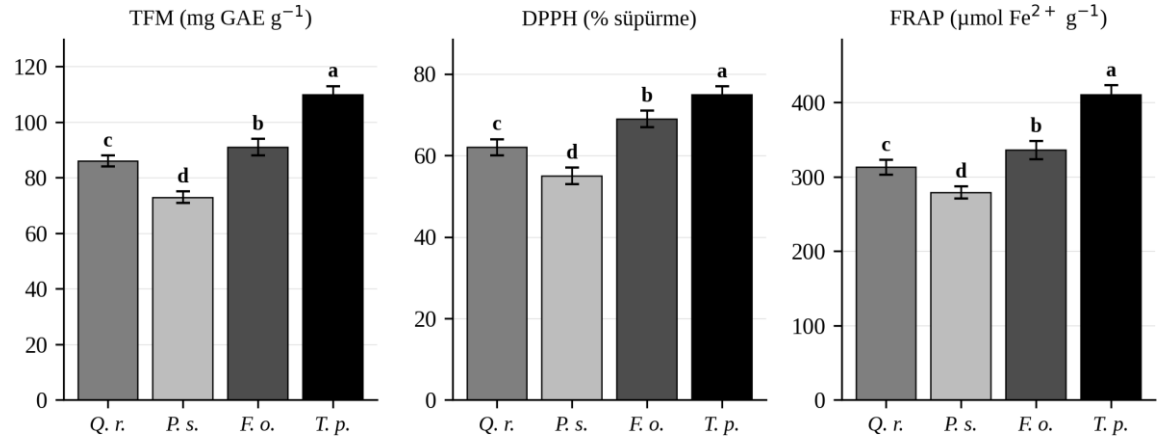
3.1. Antioksidan parametrelerin türlere göre değişimi

Dört ağaç türünün yaprak ekstraktlarına ait TFM, DPPH ve FRAP değerleri Tablo 2'de ve Şekil 1'de sunuldu. Üç parametrede de aynı sıralama elde edildi: *T. platyphyllos* > *F. orientalis* > *Q. robur* > *P. sylvestris*. *Tilia platyphyllos* ekstraktları 110 ± 3 mg GAE g^{-1} TFM, %75 ± 2 DPPH süpürme aktivitesi ve 411 ± 12 µmol Fe^{2+} g^{-1} FRAP değeriyle en yüksek, *P. sylvestris* ekstraktları ise sırasıyla 73 ± 2 mg GAE g^{-1}, %55 ± 2 ve 279 ± 8 µmol Fe^{2+} g^{-1} ile en düşük değerlere sahiptir. *Tilia platyphyllos*, en düşük değerli tür olan *P. sylvestris*'e göre TFM'de yaklaşık %51, DPPH'de yaklaşık %36 ve FRAP'ta yaklaşık %47 daha yüksek değer verdiği rapor edildi; ikinci sıradaki *F. orientalis*'e göre ise bu üstünlük TFM'de yaklaşık %21, DPPH'de yaklaşık %9 ve FRAP'ta yaklaşık %22 olarak tespit edildi.

Tablo 2. Ağaç türlerinin yaprak ekstraktlarında TFM, DPPH ve FRAP değerleri (ortalama ± SS, n = 5)

Tür	TFM (mg GAE g^{-1} dm)	DPPH (% süpürme)	FRAP (µmol Fe^{2+} g^{-1} dm)
Q. robur	86 ± 2^{c}	62 ± 2^{c}	313 ± 10^{c}
P. sylvestris	73 ± 2^{d}	55 ± 2^{d}	279 ± 8^{d}
F. orientalis	91 ± 3^{b}	69 ± 2^{b}	336 ± 12^{b}
T. platyphyllos	**110 ± 3^{a}**	**75 ± 2^{a}**	**411 ± 12^{a}**

Not. Aynı sütunda farklı harfler, türler arasındaki farkın anlamlı olduğunu gösterir (Tukey HSD, $p < 0,05$). GAE: gallik asit eşdeğeri; dm: kuru madde.



Şekil 1. Ağaç türlerinin yaprak ekstraktlarında TFM, DPPH ve FRAP değerleri (ortalama ± SS, n = 5). Aynı grafikte farklı harfler türler arasındaki farkın anlamlı olduğunu gösterir (Tukey HSD, $p < 0,05$). *Q. r.*: *Quercus robur*; *P. s.*: *Pinus sylvestris*; *F. o.*: *Fagus orientalis*; *T. p.*: *Tilia platyphyllos*.

3.2. Varyans analizi ve çoklu karşılaştırmalar

Tek yönlü ANOVA sonuçları, tür faktörünün üç parametre üzerinde de istatistiksel olarak çok anlamlı bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir (Tablo 3). Hesaplanan η^2 değerleri 0,95–0,97 aralığında olup, bu çalışma tasarımında toplam varyansın büyük bölümünün türler arası farklılıkla ilişkili olduğuna işaret etmektedir. Ancak her türün yalnızca tek bir ilden örneklendiği dikkate alındığında, bu etkinin tür özelliklerinden mi yoksa yetişme ortamı farklılıklarından mı kaynaklandığı ayırt edilememektedir (bkz. 2.6).

Tablo 3. TFM, DPPH ve FRAP için tek yönlü varyans analizi (ANOVA) sonuçları

Parametre	SS (tür)	SS (hata)	sd	F	p	η^2
TFM	3530,0	104,0	3; 16	181,0	< 0,001	0,97
DPPH	1123,8	64,0	3; 16	93,6	< 0,001	0,95
FRAP	46 983,8	1808,0	3; 16	138,6	< 0,001	0,96

Not. SS: kareler toplamı; sd: serbestlik derecesi (gruplar arası; grup içi); η^2: etki büyüklüğü (SS türü / toplam SS). Değerler Tablo 2'deki ortalama ve standart sapmalardan hesaplanmış olup yuvarlama nedeniyle küçük sapmalar içerebilir.

Tukey HSD testi, ikili karşılaştırmaların tamamında türler arasında anlamlı fark bulunduğunu ortaya koymuştur (Tablo 4). En küçük farklar *Q. robur* ile *F. orientalis* arasında saptanmış (TFM için p = 0,031; FRAP için p = 0,017); diğer tüm karşılaştırmalar p ≤ 0,001 düzeyinde anlamlı bulunmuştur. DPPH aktivitesinde *F. orientalis* ile *T. platyphyllos* arasındaki fark (6 puan) en dar karşılaştırma olmakla birlikte yine anlamlıdır (p = 0,001). Bu nedenle Tukey HSD sonuçları, *T. platyphyllos* > *F. orientalis* > *Q. robur* > *P. sylvestris* sıralamasını tüm parametrelerde doğrulamaktadır.

Tablo 4. Tukey HSD çoklu karşılaştırma sonuçları: türler arası mutlak ortalama fark (p değeri)

Karşılaştırma	TFM	DPPH	FRAP
Q. robur – P. sylvestris	13 (< 0,001)	7 (< 0,001)	34 (< 0,001)
Q. robur – F. orientalis	5 (0,031)	7 (< 0,001)	23 (0,017)
Q. robur – T. platyphyllos	24 (< 0,001)	13 (< 0,001)	98 (< 0,001)
P. sylvestris – F. orientalis	18 (< 0,001)	14 (< 0,001)	57 (< 0,001)
P. sylvestris – T. platyphyllos	37 (< 0,001)	20 (< 0,001)	132 (< 0,001)
F. orientalis – T. platyphyllos	19 (< 0,001)	6 (0,001)	75 (< 0,001)

Not. Fark birimleri ilgili parametrenin birimiyle aynıdır (TFM: mg GAE g^{-1}; DPPH: yüzde puan; FRAP: µmol Fe^{2+} g^{-1}). Değerler Tablo 2'deki ortalama ve standart sapmalardan hesaplanmıştır.

3.3. Fenolik madde ile antioksidan aktivite arasındaki ilişki

Pearson korelasyon analizi, TFM ile DPPH süpürme aktivitesi (r = 0,92) ve TFM ile FRAP değeri (r = 0,89) arasında güçlü pozitif ilişki bulunduğunu göstermiştir. Bu bulgu, daha yüksek fenolik madde içeriğine sahip türlerin hem radikal süpürme hem de indirgeme testlerinde daha yüksek aktivite verdiğini, dolayısıyla çalışmanın ikinci araştırma sorusuna olumlu yanıt verildiğini göstermektedir.

Bulgular, incelenen dört türde antioksidan kapasitenin büyük ölçüde fenolik madde içeriğiyle birlikte değiştiğini göstermektedir. TFM ile DPPH ve FRAP arasındaki güçlü pozitif ilişki, bitkisel polifenollerin radikal süpürme ve indirgeme etkinliğinin fenolik içerikle yüksek düzeyde bağlantılı olduğunu bildiren çalışmalarla uyumludur (Dai ve Mumper, 2010; Rice-Evans ve ark., 1997). Folin–Ciocalteu belirtecinin fenolik olmayan bazı indirgeyici maddelerle de tepkime verebildiği bilindiğinden (Singleton ve ark., 1999), TFM değerleri kesin bir fenolik miktar yerine fenolik bileşiklerin ve diğer indirgeyici maddelerin toplam indirgeme kapasitesinin bir göstergesi olarak yorumlanmalıdır. Bu çalışmada üç testin aynı sıralamayı vermesi, sonucun tek bir yöntemin özelliğinden kaynaklanmadığını desteklemektedir (Prior ve ark., 2005).

Tilia platyphyllos yapraklarının tüm parametrelerde en yüksek değerleri vermesi, bu türün

yapraklarının biyoaktif bileşikler bakımından zengin olabileceğini düşündürmektedir. Büyük yapraklı ıhlamurun metanol ekstraktlarında fenolik madde ve antioksidan aktivitenin ölçülmüş olması (Kelmendi ve ark., 2020), bu bulguyla genel olarak uyumludur; ancak doğrudan sayısal karşılaştırma, farklı bitki organları, ekstraksiyon koşulları ve ifade birimleri nedeniyle olanaklı değildir. Aynı çerçevede, Avrupa kayınının yapraklarında klorojenik asit türevleri ve flavonollerin baskın olduğu (Formato ve ark., 2021), meşe yapraklarının ise dal ve palamutlara göre daha güçlü antioksidan özellik gösterdiği bildirilmiştir (Popović ve ark., 2013). Bu çalışmada *F. orientalis* ve *Q. robur*'un *T. platyphyllos*'tan sonra, *P. sylvestris*'ten önce yer alması, geniş yapraklı türlerin bu açıdan önemli biyokimyasal kaynaklar olduğu yönündeki görüşü desteklemektedir.

Pinus sylvestris iğne yapraklarının en düşük TFM, DPPH ve FRAP değerlerini vermesi, iğne yapraklı türler ile geniş yapraklı türler arasındaki yapısal ve kimyasal farklılıkla ilişkili olabilir. Ancak iğne yapraklı türlerde fenolik içeriğin yaşa, dokuya ve ekstraksiyon yöntemine göre önemli ölçüde değişebildiği bildirilmektedir (Popescu ve ark., 2024); bu nedenle bu çalışmadaki düşük değerler, genel olarak iğne yapraklı türlerin düşük antioksidan kapasiteye sahip olduğu biçiminde genellenmemelidir. Ayrıca bu çalışmada TFM, DPPH ve FRAP kuru madde esasına göre ifade edilmiş olup, farklı yaprak yapılarının (yassı yaprak ve iğne yaprak) kuru madde bileşimindeki farklılıklar sonuçları etkilemiş olabilir.

Bitkilerde fenolik bileşik ve flavonoid birikimi, ışık, UV-B ışınımı, sıcaklık ve yükselti gibi çevresel etmenlerden etkilenmekte; flavonoidler fotokoruyucu işlevleriyle bu stres koşullarına yanıtta rol oynamaktadır (Agati ve Tattini, 2010; Jaakola ve Hohtola, 2010). Bu çalışmada türlerin 750–1800 m arasında değişen farklı yükseklikliklerdeki dört farklı ilden örneklenmesi, tür etkisi ile ekolojik etkinin birbirinden ayrılmasını engellemektedir. Örneğin, en yüksek rakımdan (1800 m) alınan *P. sylvestris'in* en düşük, en düşük rakımdan (750 m) alınan *T. platyphyllos'un* ise en yüksek değerleri verdiği rapor edildi; bu durum yükseltinin ya da UV maruziyetinin tek başına açıklayıcı olmadığını, ancak tür, yetişme ortamı ve yaprak yapısının birlikte etkili olabileceğini düşündürmektedir. Bu nedenle bulgular, türlerin içsel biyokimyasal kapasitelerinin kesin bir karşılaştırması olarak değil, belirli lokasyon ve zamandaki örneklerin karşılaştırması olarak yorumlanmalıdır.

Çalışmanın diğer sınırlılıkları şunlardır: (i) örnekleme tek bir dönemde (Mayıs 2025) ve her tür için beş birey üzerinden yapılmıştır; fenolojik döneme bağlı mevsimsel değişim dikkate alınamamıştır; (ii) ölçümler *in vitro* kimyasal testlere dayanmakta olup biyolojik sistemlerdeki etkinliği doğrudan yansıtmamaktadır; (iii) bireysel fenolik bileşikler kromatografik yöntemlerle belirlenmemiştir. Ayrıca %80'lik metanol fenolik bileşiklerin ekstraksiyonunda etkili bir çözücü olmakla birlikte toksisitesi nedeniyle gıda ve kozmetik uygulamalarına doğrudan uygun değildir; bu alanlardaki kullanım için etanol–su gibi daha güvenli çözücü sistemleriyle doğrulama çalışmaları gereklidir.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada Türkiye'de yetişen dört ağaç türünün (*Quercus robur, Pinus sylvestris, Fagus orientalis* ve *Tilia platyphyllos*) yaprak ekstraktlarındaki antioksidan kapasite, TFM, DPPH ve FRAP testleriyle karşılaştırıldı. Üç parametrede de *T. platyphyllos* en yüksek, *P. sylvestris* en düşük değeri vermiştir; türler arasındaki tüm ikili farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. TFM ile DPPH ve FRAP arasındaki güçlü pozitif ilişki, antioksidan kapasitenin büyük ölçüde fenolik içerikle bağlantılı olduğunu gösterdi.

Tilia platyphyllos yaprakları, bu çalışma kapsamında, gıda, nutrasötik ve dermokozmetik uygulamalar için doğal antioksidan hammaddesi adayı olarak öne çıkmaktadır. Ancak türlerin farklı lokasyonlardan örneklenmiş olması nedeniyle tür etkisi ile çevresel etki ayrıştırılamadı.

Gelecek çalışmalarda aynı ekolojik koşullarda örnekleme, birden fazla lokasyon ve mevsimi kapsayan tasarımlar, bireysel fenolik bileşiklerin kromatografik olarak belirlenmesi, gıda ve kozmetik uygulamalarına uygun çözücülerin denenmesi ve *in vitro* bulguların biyolojik modellerde doğrulanması önerilmektedir.

KAYNAKÇA

Agati, G., & Tattini, M. (2010). Multiple functional roles of flavonoids in photoprotection. *New Phytologist, 186*(4), 786–793. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03269.x

Benzie, I. F. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": The FRAP assay. *Analytical Biochemistry, 239*(1), 70–76. https://doi.org/10.1006/abio.1996.0292

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. https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5

Dai, J., & Mumper, R. J. (2010). Plant phenolics: Extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties. *Molecules, 15*(10), 7313–7352. https://doi.org/10.3390/molecules15107313

Formato, M., Piccolella, S., Zidorn, C., & Pacifico, S. (2021). UHPLC-HRMS analysis of *Fagus sylvatica* (Fagaceae) leaves: A renewable source of antioxidant polyphenols. *Antioxidants, 10*(7), Article 1140. https://doi.org/10.3390/antiox10071140

Jaakola, L., & Hohtola, A. (2010). Effect of latitude on flavonoid biosynthesis in plants. *Plant, Cell & Environment, 33*(8), 1239–1247. https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2010.02154.x

Kelmendi, N., Mustafa, B., Zahiri, F., Nebija, D., & Hajdari, A. (2020). Essential oil composition of *Tilia platyphyllos* Scop. collected from different regions of Kosovo. *Records of Natural Products, 14*(5), 366–371.

Levene, H. (1960). Robust tests for equality of variances. In I. Olkin (Ed.), *Contributions to probability and statistics: Essays in honor of Harold Hotelling* (pp. 278–292). Stanford University Press.

Pizzino, G., Irrera, N., Cucinotta, M., Pallio, G., Mannino, F., Arcoraci, V., Squadrito, F., Altavilla, D., & Bitto, A. (2017). Oxidative stress: Harms and benefits for human health. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2017*, Article 8416763. https://doi.org/10.1155/2017/8416763

Popescu, D. I., Frum, A., Dobrea, C. M., Cristea, R., Gligor, F. G., Vicas, L. G., Ionete, R. E., Sutan, N. A., & Georgescu, C. (2024). Comparative antioxidant and antimicrobial activities of several conifer needles and bark extracts. *Pharmaceutics, 16*(1), Article 52. https://doi.org/10.3390/pharmaceutics16010052

Popović, B. M., Štajner, D., Ždero, R., Orlović, S., & Galić, Z. (2013). Antioxidant characterization of oak extracts combining spectrophotometric assays and chemometrics. *The Scientific World Journal, 2013*, Article 134656. https://doi.org/10.1155/2013/134656

Prior, R. L., Wu, X., & Schaich, K. (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53*(10), 4290–4302. https://doi.org/10.1021/jf0502698

Quideau, S., Deffieux, D., Douat-Casassus, C., & Pouységu, L. (2011). Plant polyphenols: Chemical properties, biological activities, and synthesis. *Angewandte Chemie International Edition, 50*(3), 586–621. https://doi.org/10.1002/anie.201000044

Rice-Evans, C. A., Miller, N. J., & Paganga, G. (1997). Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends in Plant Science, 2*(4), 152–159. https://doi.org/10.1016/S1360-1385(97)01018-2

Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete

samples). *Biometrika*, *52*(3–4), 591–611. https://doi.org/10.1093/biomet/52.3-4.591
Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin–Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, *299*, 152–178. https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1
Tukey, J. W. (1949). Comparing individual means in the analysis of variance. *Biometrics*, *5*(2), 99–114. https://doi.org/10.2307/3001913

TOKAT BELEDİYESİ OYUNCAK MÜZESİ

Yüksek Lisans Öğrencisi Nazım SEVER
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı, Tokat
ORCID ID: 0009-0008-5481-5850
Prof. Dr. Hüseyin MERTOL
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Tokat
ORCID ID: 0000-0001-8048-0814
Doç. Dr. Nisa Gökden KAYA
Hitit Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Çocuk Gelişimi Bölümü, Çorum
ORCID ID: 0000-0002-6969-371X

ÖZET
Oyuncaklar, çocukların gelişiminde çok önemli bir yer tutan oyunda kullanılan, hayal gücünü geliştiren ve eğlendiren her türlü nesne olarak tanımlanabilir. Başka bir ifadeyle oyun ve oyuncak çocukların dünyayı algılayıp anlamasına yardımcı olan, eğlenceli olduğu kadar da eğitici araçlardır. Oyun ve oyuncak, çocukların hayatında vazgeçilmez bir öneme sahip olduğu için geçmişten günümüze birçok farklı oyun ve oyuncak çeşidi bulunmaktadır. Arkeolojik kazılarda, milattan önceki döneme ait oyuncaklar bulunmuştur. Bu durum oyuncakların aynı zamanda tarihi, kültürü ve toplumsal değişimi yansıttığını göstermektedir. Bu bağlamda dünyada ve Türkiye'de oyuncak müzeleri kurulmaktadır. Bu müzelerde sergilenen oyuncaklar, çocuklara oyun alanları ve atölyeler sunarken yetişkinler için de çocukluk anılarını canlandıran nostaljik bir etki yaratmaktadır. Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Oyuncak Müzesi, Türkiye'deki hızlı değişim süreci içinde kaybolma riski taşıyan oyuncakları korumak amacıyla, 20 Nisan 1990 tarihinde eğitim bilimci Prof. Dr. Bekir Onur öncülüğünde açılmıştır. Tokat Belediyesi de Ankara Üniversitesi ile gerçekleştirilen iş birliği sonucunda, Tokat'ta 380 adet tematik oyuncaktan oluşan bir oyuncak müzesini 27 Haziran 2026'da hizmete açmıştır. Tarihi Hıdırlık Şeyh Meknun Zaviyesi'nde kurulan müze, çocukların yanı sıra yetişkinlere de hitap etmekte ve Tokat'ın kültürel tarihine ışık tutmaktadır. Müzede geleneksel ahşap oyuncaklardan bez bebeklere ve tematik koleksiyonlara kadar birçok eser sergilenmektedir. Bu araştırmada oyuncak müzelerinin önemi, Tokat oyuncak müzesi ve şehre katkıları incelenmektedir.
Anahtar kelimeler: oyuncak, oyuncak müzesi, Tokat

TOKAT MUNICIPALITY TOY MUSEUM

ABSTRACT
Toys can be defined as any object used in play—an activity that plays a crucial role in child development—that fosters imagination and provides entertainment. In other words, play and toys serve as tools that are as educational as they are entertaining, helping children perceive and understand the world around them. Given the indispensable role play and toys hold in children's lives, a wide variety of them have existed throughout history; indeed, toys dating back to the pre-Christian era have been unearthed during archaeological excavations. Consequently, toys also reflect history, culture, and societal change. Against this backdrop, toy museums are being established both globally and in Turkey. The toys exhibited in these museums offer play areas and workshops for children while evoking a sense of nostalgia in adults by reviving childhood memories. The Ankara University Faculty of Educational Sciences Toy Museum was opened on April 20, 1990, under the leadership of educational scientist Prof. Dr. Bekir Onur, with the

aim of preserving toys at risk of disappearing amidst Türkiye's rapid transformation. Similarly, as a result of a collaboration with Ankara University, the Tokat Municipality opened a toy museum in Tokat on June 27, 2026, featuring a collection of 380 thematic toys. Housed in the historic Hıdırlık Şeyh Meknun Lodge, the museum appeals to both children and adults and sheds light on Tokat's cultural history. The museum displays a wide range of items, from traditional wooden toys and rag dolls to thematic collections. This study examines the significance of toy museums, focusing specifically on the Tokat Toy Museum and its contributions to the city.
Keywords: toy, toy museum, Tokat

GİRİŞ

Oyun ve oyuncak, çocuk denince ilk akla gelen olgulardan olup çocukların gelişiminde önemli bir yer tutmaktadır. Oyun çocuğun keyifli bir şekilde zaman geçirmesini sağlamanın yanı sıra çocuğun araştırma, keşfetme, çervesiyle iletişim kurarak hayatı deneyimleme sürecidir (Ellis, 1973). Oyuncak, oyun oynarken kullanılan, hayal gücünü geliştiren ve eğlendiren her türlü nesne olarak tanımlanabilir. Başka bir ifadeyle oyun ve oyuncak çocukların dünyayı algılayıp anlamasına yardımcı olan, eğlenceli olduğu kadar da eğitici araçlardır (Almqvist, 2004). Oyun ve oyuncak, çocukların hayatında vazgeçilmez bir öneme sahip olduğu için geçmişten günümüze birçok farklı oyun ve oyuncak çeşidi bulunmaktadır (Onur, 2002). Arkeolojik kazılarda, Mısır'da milattan önceki döneme ait topaç, misket, tahta at ve bebek gibi oyuncaklar bulunmuştur (Ravenscroft, 1999). Oyuncaklar aynı zamanda tarihi, kültürü ve toplumsal değişimi yansıtmaktadır (Gorman, 1985). Bu bağlamda hem çocuk kültürüne verilen önemin artması hem de oyuncakların tarihsel ve kültürel değerinin anlaşılması sonucunda dünyada ve Türkiye'de oyuncak müzeleri kurulmaktadır (Erbay, 2017). Bu müzelerde sergilenen oyuncaklar, çocuklara oyun alanları ve atölyeler sunarken yetişkinler için de çocukluk anılarını canlandıran nostaljik bir etki yaratmaktadır.

Dıvrak (2017) dünyada ilk oyuncak müzelerinin Amerika Birleşik Devletleri ve Avrupa'da açıldığını belirtmektedir. Türkiye'de ise 1983 yılında Arkeolog Musa Baran'ın kendi yaptığı oyuncakların yanı sıra uçurtma, sapan, tel araba gibi geleneksel oyuncakları da kapsayan İzmir Bademler Köyündeki evinde kurduğu "Musa Baran Çocuk Oyuncakları Müzesi" açılmışır (Canko, 2014). Türkiye'deki hızlı değişim süreci içinde kaybolma riski taşıyan oyuncakları korumak amacıyla, 20 Nisan 1990 tarihinde eğitim bilimci Prof. Dr. Bekir Onur öncülüğünde açılan Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Oyuncak Müzesi ise profesyonel bir anlayışa ve zengin bir kolleksiyona sahip olması sebebiyle Türkiye'nin ilk oyuncak müzesi olarak kabul edilmektedir (Akoğlan Kozak ve Güncan, 2021).

Belgin Akın ile şair ve yazar Sunay Akın tarafından 23 Nisan 2005 tarihinde açılan İstanbul Oyuncak Müzesi ise Türkiye'nin üçüncü oyuncak müzesi olma özelliğini taşımaktadır. 2012 yılında Avrupa Oyuncak ve Çocuk Müzeleri Birliği buluşmasına ev sahipliği yapan müzenin yılda yaklaşık 150.000 ziyaretçisi bulunmaktadır (Ellibeş, 2016).

Sonraki yıllarda Antalya, Gaziantep, Osmaiye, Aksaray, Şanlıurfa gibi birçok şehirde, geçmişten gelen çocuk kültürü ile günümüz çocuklarını tanıştırarak kültürel hafızayı yaşatma noktasında şehre önemli bir katkı sağlayan oyuncak müzeleri açılmıştır. Tokat Belediyesi de Ankara Üniversitesi ile gerçekleştirilen iş birliği sonucunda, Tokat'ta 380 adet tematik oyuncaktan oluşan bir oyuncak müzesini 27 Haziran 2026'da hizmete açmıştır. Bu araştırmanın amacı, Tokat oyuncak müzesi özelinde oyuncak müzelerinin önemini ve şehre katkılarını incelemektedir.

ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Kültürel mirası sonraki nesillere aktarmakta önemli bir göreve sahip olan müzeler, aynı zamanda okul dışı öğrenme ortamları arasında yer almaktadır (Mertol vd, 2022). Bu yönüyle çocukların gelişimine ve eğitimine katkı sağlayan mekanlardır (İşler, 2019). Son yıllarda ülkemizde de gerek müze sayılarında gerekse çocuklara yönelik müze eğitimlerinde bir artış olduğu görülmektedir. Oyuncak müzeleri sadece oyuncakların sergilendiği bir mekan olmayıp çocuklara geçmişle bağ kurarak kültürü yaşatmayı amaçlamaktadır. Ayrıca oyuncak müzelerinin içerisinde çocuklara yönelik çeşitli eğitsel etkinlikler ve atölye çalışmaları yapılmaktadır (Karadeniz ve Artar, 2017; Önder, 2020). Yürütülen deneysel bir araştırmada, oyuncak müzesi içerisinde uygulanan eğitsel etkinliklerinin okul öncesi dönem çocuklarının sosyal problem çözme ile sosyal becerilerini desteklediği sonucuna ulaşılmıştır (Bozkurt ve Tezel Şahin, 2023). Bu da oyuncak müzelerinin çocukların gelişimine katkısını göstermektedir. 2026 yılının Haziran ayında, Hıdırlık Köprüsü'nün hemen yanında bulunan Tarihi Hıdırlık Şeyh Meknun Zaviyesi'nde kurulan Tokat oyuncak müzesi, çocukların yanı sıra yetişkinlere de hitap etmekte ve Tokat'ın kültürel tarihine ışık tutmaktadır. Müze, klasik dönem Selçuklu/Osmanlı taş/ahşap mimarisi izlerini taşıyan, kesme taş ve ahşap detaylara sahip tarihi bir zaviye binasında yer almaktadır. Yapının dış cephesi, tarihi dokuyu koruyan geleneksel taş duvarlar, kemerli giriş kapısı ve kiremit kaplı çatısı ile dikkat çekmektedir. Binanın dıştan görünüşü Görsel 1'de yer almaktadır.

Görsel 1. Oyuncak müzesinin dış görünüşü



Müzede geçmişten günümüze dek çocukların kullandığı birçok türde oyuncak bulunmaktadır. Görsel 2'de oyuncak müzesinden bir fotograf yer almaktadır.

Görsel 2. Oyuncak müzesinden bir fotograf



Müzede, geleneksel ahşap oyuncaklardan bez bebeklere, zeka oyunlarından tematik koleksiyonlara kadar birçok eser sergilenmektedir. Müzede bulunan bez bebekler Görsel 3'te yer almaktadır.

Görsel 3. Oyuncak müzesinde bulunan bez bebekler



SONUÇ

Müzeler, geçmişle bugün arasında bir köprü kurmanın yanı sıra çeşitli alanlarda çocukların gelişimine önemli katkılar sunmaktadır. Coşkun Keskin ve Kaplan (2012) oyuncak müzelerinin sosyal bilgiler ve tarih eğitiminde okul dışı öğrenme ortamı olarak kullanılabileceğini belirtmektedir. Günümüzde çeşitli şehirlerde açılmış olan oyuncak müzelerinde çocukların gelişimine yönelik eğitici çalışmalar yürütülmektedir. Köse ve Tezcan Akmehmet (2023) Türkiye'deki oyuncak müzelerinde somut olmayan kültürel mirasın korunmasına yönelik eğitim etkinlikleri inceleyen araştırma sonucunda, Karagöz-Hacivat gölge oyunu, kukla atölyesi, drama atölyesi ve masal atölyesi ile el sanatları etkinliklerinin düzenlenerek kültürü gelecek nesillere aktarma görevini yerine getirmeye çalıştığını belirtmektedir. Bu bağlamda

2026 yılının Haziran ayında hizmete açılan Tokat Belediyesi Oyuncak Müzesi, hem geçmiş dönemlerde kullanılan oyuncakları sergileyerek toplumsal hafızayı canlandırmakta, hem de çocuklara içinde yaşadıkları toplumun kültürünü tanıtmaktadır. Çocuklara yönelik yerel yönetimler tarafından gerçekleştirilen bu çalışmalar, çocukların daha sağlıklı ve bilinçli şekilde yetişmelerine uygun ortamlar oluşturmaktadır. Böylece hem şehrin kültürüne, hem de şehirde yaşayan çocukların gelişimine katkı sağlamaktadır. İleride yapılacak çalışmalarda oyuncak müzesinde yapılan etkinliklere ilişkin çocukların ve ebeveynlerin görüşleri araştırılarak ortaya çıkan sonuçlar doğrultusunda uygulamalar yaygınlaştırılabilir.

KAYNAKÇA

Akoğlan Kozak, M. & Güncan, Ö. (2021). Oyuncak müzeleri ve ziyaretçi deneyimleri. *Social Science Development Journal,* 6(24), 74-96.

Almqvist, B. (2004). *Educational Toys, Creative Toys. Toys, Play, and Child Development.* (Edt. Goldstein, J. H.). The Netherlands: Cambridge University.

Bozkurt, Ş. S. & Tezel Şahin, F. (2023). Müzede etkinlik var: oyuncak müzesinde uygulanan eğitim etkinliklerinin çocukların problem çözme ve sosyal becerilerine etkisi. *Uluslararası Müze Eğitimi Dergisi,* 5(Özel Sayı), 34-51. https://doi.org/10.51637/jimuseumed.1341365

Canko, M., D. (2014). Bir arkeoloğun oyuncak sevdası: Musa Baran oyun ve oyuncak müzesi. Dilek Maktal Canko (Yay. Haz.), *Müzeler, Oyunlar, Oyuncaklar ve Çocuklar* içinde, (317-331). Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları, İzmir.

Coşkun Keskin, S. & Kaplan, E. (2012). Sosyal Bilgiler ve Tarih Eğitiminde Okul Dışı Öğrenme Ortamı Olarak Oyuncak Müzeleri. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi,* 11(41), 95-115.

Dıvrak, M. (2017). *Müzelerde Atmosfer Oluşturmanın Ziyaretçiler Üzerindeki Etkileri: İstanbul Oyuncak Müzesi Örneği,* Yayımlanmamış Doktora Tezi, Maltepe Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, İstanbul.

Ellibeş, B. (2016). İstanbul Oyuncak Müzesi. Ceren Karadeniz & Bekir Onur (Yay. Haz.), *Oyuncak Müzelerinin Dünü, Bugünü ve Sürdürülebilirliği* içinde, (s:31-37). Ankara Üniversitesi Çocuk Kültürü Araştırma ve Uygulama Merkezi Yayınları, Ankara.

Ellis, M. J. (1973). *Why People Play?* Prentice-Hall Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.

Erbay, F. (2017). Oyuncak ve Oyun Müzelerinde Çocuklara Yönelik Eğitimin Boyutları, *Milli Eğitim Dergisi,* 214: 435-444.

Gorman, A. B. (1985), *Toys Are Us,* Yale-New Haven Teachers Institute, 06, A.B.D.

İşler, D. (2019). Çocukları Oyun ve Oyuncak Müzelerine Götürmek Neden Önemli? Eğitimpedia, https://www.egitimpedia.com/cocuklari-oyun-ve-oyuncak-muzelerine-goturmek-neden-onemli sitesinden 08.10.2026 tarihinde erişilmiştir.

Karadeniz, C., & Artar, M. (2017). Türkiye'de Oyuncak Müzelerinin Durumu ve Sürdürülebilirliği. *Elektronik Sosyal Bilimler Dergisi,* 16(61), 477-492. https://doi.org/10.17755/esosder.304687

Köse, F. & Tezcan Akmehmet, K. (2023). Türkiye'deki oyuncak müzelerinde SOKÜM'e yönelik eğitim etkinliklerinin incelenmesi. *Uluslararası Müze Eğitimi Dergisi,* 5(1), 1-14. https://doi.org/10.51637/jimuseumed.1220313

Mertol, H., Kızılaslan, A.; Kaya, N. G. (2022). Üstün Yetenekli Öğrencilerin Eğitiminde Oyuncak Müzelerinin Önemi. *9th International Conference on Social Sciences & Humanities,* The Proceedings Book, 118-124.

Onur, B. (2002). *Oyuncaklı Dünya*, Dost Kitabevi Yayınları, Ankara.

Ravenscroft L.M. (1999). *Toys in the Middle Ages,* http://www.florilegium.org/?http%3A//www.florilegium.org/files/CHILDREN/TToy-in-th-MA-art.html

ÇOCUK DOSTU ŞEHİR TOKAT

Yüksek Lisans Öğrencisi Nazım SEVER
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Coğrafya Anabilim Dalı, Tokat
ORCID ID: 0009-0008-5481-5850
Prof. Dr. Hüseyin MERTOL
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Tokat
ORCID ID: 0000-0001-8048-0814
Doç. Dr. Nisa Gökden KAYA
Hitit Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Çocuk Gelişimi Bölümü, Çorum
ORCID ID: 0000-0002-6969-371X

ÖZET
Uluslararası barışı ve güvenliği sağlamak, devletler arasında dostane ilişkiler geliştirmek, ekonomik ve sosyal iş birliği kurmak ile insan haklarını teşvik etmek amacıyla 1945 yılında kurulmuş olan Birleşmiş Milletler, 20 Kasım 1989 tarihinde Birleşmiş Milletler Çocuk Hakları Sözleşmesi'ni kabul etmiştir. Bu sözleşme, çocukların kişiliğinin tam ve uyumlu bir şekilde gelişmesi için çocukların yaşam koşullarını iyileştirmeyi hedeflemektedir. Türkiye, 14 Eylül 1990 tarihinde Birleşmiş Milletler Çocuk Haklarına Dair Sözleşme'yi imzalamış ve 4 Mayıs 1995 tarihinde Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir. 2002 yılının Mayıs ayında New York'ta düzenlenen Birleşmiş Milletler Çocuklar Özel Oturumu'nda "Çocuklara Uygun Bir Dünya" başlıklı belge ile, üye ülkeler çocuk dostu topluluklar ve kentler geliştirmeye ve çocuklar için belirlenen yeni hedeflere ulaşma sürecinde belediye başkanları ile belediye yetkililerini temel ortaklar olarak sürece dahil edilmiştir. Bu bağlamda "çocuk dostu şehir" kavramı kabul edilmiştir. Çocuk dostu şehirlerde çocukların görüşleri dikkate alınarak aile, mahalle ve kent düzeylerinde çocukların yaşam ortamlarını dönüştürecek bir strateji geliştirilmelidir. Başka bir ifadeyle çocuk dostu şehir, çocuklar için güvenli, temel hizmetlere ulaşımı kolay ve temiz bir çevre sunulmasıdır. Tokat Belediyesi, çocukların şehir yönetiminde söz sahibi olması ve çocuklara yönelik projeler yürütmesi dolayısıyla 2022 yılında Çocuk Dostu Şehirler kategorisinde ödül kazanmıştır. Bu araştırmada, çocuk dostu şehir kavramı ve özellikleri, çocuk dostu şehirlerin şehrin imajına katkısı ve Tokat'ta bu bağlamda gerçekleştirilen projeler incelenmiştir.
Anahtar kelimeler: çocuk, çocuk dostu şehir, Tokat

CHILD-FRIENDLY CITY TOKAT

ABSTRACT
The United Nations, established in 1945 to maintain international peace and security, foster friendly relations among states, promote economic and social cooperation, and encourage respect for human rights, adopted the United Nations Convention on the Rights of the Child on November 20, 1989. This convention aims to improve children's living conditions to ensure the full and harmonious development of their personalities. Turkey signed the United Nations Convention on the Rights of the Child on September 14, 1990, and the convention entered into force after being published in the Official Gazette on May 4, 1995. At the United Nations Special Session on Children held in New York in May 2002, the document titled "A World Fit for Children" engaged mayors and municipal officials as key partners in the process of developing child-friendly communities and cities and achieving new goals set for children. In

this context, the concept of the "child-friendly city" was adopted. In child-friendly cities, strategies must be developed to transform children's living environments at the family, neighborhood, and city levels by taking their views into account. In other words, a child-friendly city is one that offers children a safe environment, easy access to basic services, and a clean setting. Tokat Municipality won an award in the "Child-Friendly Cities" category in 2022 for enabling children to have a voice in city governance and for implementing projects aimed at children. This study examines the concept and characteristics of child-friendly cities, the contribution of child-friendly cities to the city's image, and projects implemented in Tokat within this context.
Keywords: child, child-friendly city, Tokat

GİRİŞ

Dünyamızda yaşanan iki dünya savaşı sonrasında tüm insanları etkileyen acılar, kayıplar, üzüntü ve yoksulluk, insanları bir daha benzer durumların yaşanmamasını sağlayacak bir kuruluş çatısı altında birleşmeye itmiştir. Uluslararası barışı ve güvenliği sağlamak, devletler arasında dostluğa dayalı ilişkiler geliştirmek, ekonomik ve sosyal iş birliği kurmak ile insan haklarını teşvik etmek amacıyla 1945 yılında kurulmuş olan Birleşmiş Milletler, uluslararası düzeyde etkili bir kuruluştur (Aral, 2013). Birleşmiş Milletler 20 Kasım 1989 tarihinde Çocuk Hakları Sözleşmesi'ni kabul etmiştir (Öktem ve Akpınar, 2019). Bu sözleşme, çocukların kişiliğinin tam ve uyumlu bir şekilde gelişmesi için çocukların yaşam koşullarını iyileştirmeyi hedeflemektedir.

Türkiye, 14 Eylül 1990 tarihinde Birleşmiş Milletler Çocuk Haklarına Dair Sözleşme'yi imzalamış ve 4 Mayıs 1995 tarihinde Resmî Gazete'de yayımlanarak yürürlüğe girmiştir (Dirican, 2018).

2002 yılının Mayıs ayında New York'ta düzenlenen Birleşmiş Milletler Çocuklar Özel Oturumu'nda "Çocuklara Uygun Bir Dünya" başlıklı belge ile, üye ülkeler çocuk dostu topluluklar ve kentler geliştirmeye ve çocuklar için belirlenen yeni hedeflere ulaşma sürecinde belediye başkanları ile belediye yetkililerini temel ortaklar olarak sürece dahil edilmiştir. Bu bağlamda ilk olarak İtalya'da uygulanan "çocuk dostu şehir" kavramı kabul edilmiştir (Çakırer Özservet, 2016; Riggio, 2002). Çocuk dostu şehirlerde çocukların görüşleri dikkate alınarak aile, mahalle ve kent düzeylerinde çocukların yaşam ortamlarını dönüştürecek bir strateji geliştirilmelidir. Başka bir ifadeyle çocuk dostu şehir, çocuklar için güvenli, temel hizmetlere ulaşımı kolay ve temiz bir çevre sunulmasıdır (Tandoğan, 2014).

Tokat Belediyesi, çocukların şehir yönetiminde söz sahibi olması ve çocuklara yönelik projeler yürütmesi dolayısıyla 2022 yılında Çocuk Dostu Şehirler kategorisinde ödül kazanmıştır. Bu araştırmada, çocuk dostu şehir kavramı ve özellikleri, çocuk dostu şehirlerin şehrin imajına katkısı ve Tokat'ta bu bağlamda gerçekleştirilen projeler incelenmiştir.

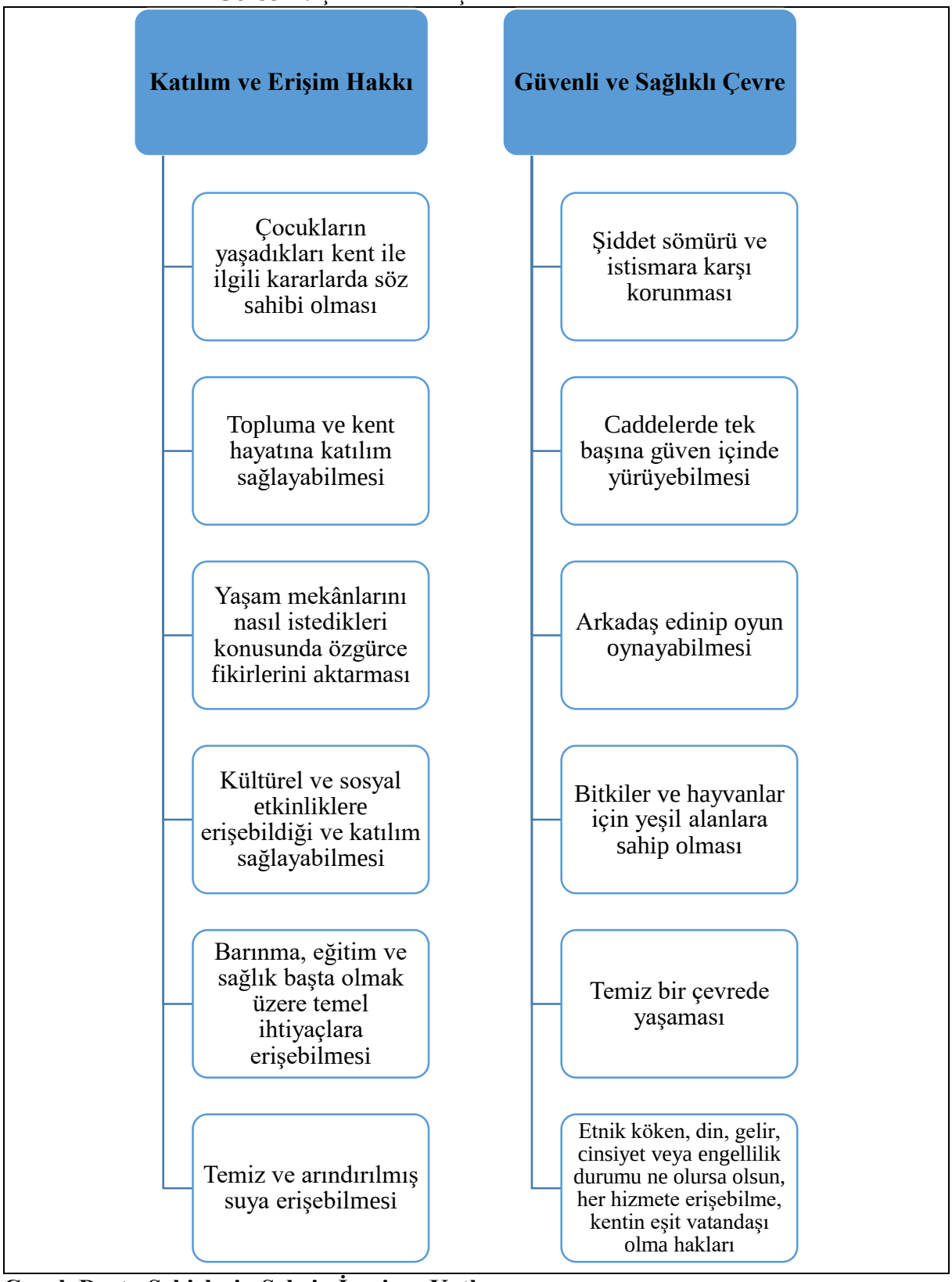
ARAŞTIRMA VE BULGULAR

Çocukların her yönden sağlıklı bir şekilde gelişmelerinde çevrenin etkisi büyüktür (Karataş, 2013). Bu bağlamda ebeveynlerinin yanı sıra toplumun da önemli rolü ve sorumluluğu bulunmaktadır. Birleşmiş Milletler tarafından kabul edilen "çocuk dostu şehir" kavramı ile yerel yönetimlerin de çocukların fiziksel, bilişsel ve psiko-sosyal açıdan sağlıklı gelişimlerine olanak sağlayacak güvenli bir çevre oluşturma görevi bulunmaktadır. Çocuk dostu şehir, çocuk haklarının yerel düzeyde hayata geçirildiği, çocukların sağlıklı ve güvenli ortamlarda oynayıp gelişebileceği fiziksel ve sosyal çevreye sahip kent modelidir (Aydoğan ve Dilek, 2024). Türkiye'de bu doğrultuda birçok şehirde çocukların daha özgür ve güvenli bir şekilde yaşamalarını sağlayacak projeler hayata geçirilmektedir (Tandoğan, 2014).

Çocuk Dostu Şehirlerin Temel Özellikleri

Türkçe açılımı "Birleşmiş Milletler Çocuklara Yardım Fonu" olan UNICEF tarafından belirlenen Çocuk Dostu Şehirlerin kriterleri küresel standartlar olarak kabul edilmektedir. Çevresel, mekânsal ve sosyal açıdan "Çocuk Dostu Şehir" 12 madde olarak tanımlanabilir. Buna göre çocuk dostu şehirlerin temel özellikleri "Katılım ve Erişim Hakkı" ile "Güvenli ve Sağlıklı Çevre" ana başlıkları altında Görsel 1'de sıralanmıştır.

Görsel 1. Çocuk Dostu Şehirlerin Temel Özellikleri



Çocuk Dostu Şehirlerin Şehrin İmajına Katkısı

Çocuk dostu olmak şehrin hem somut hem de soyut imajına güçlü ve olumlu katkılar sağlamaktadır. "Bir şehir çocuk için iyiyse, herkes için iyidir" prensibi gereği; engellilerden

yaşlılara kadar tüm toplum kesimleri için kapsayıcı bir çevre sunulduğu mesajı vermekte ve kentin prestiji yükselmektedir. Başka bir ifadeyle toplumdaki bireylerin yaşam kalitesini yükselterek "yaşanabilir şehir" imajını pekiştirmektedir (Özdemir, 2013).

Çocuk dostu şehirlerde, yeşil alanlarda özgürce oynayabilen, arkadaşlarıyla sosyalleşebilen, çocuğa yönelik mekanlarda eğlenebilen, keşfedip öğrenen çocuklar yetişecektir (Aydoğan, 2020). Böylece sağlıklı ve güvenli bir şehir ortamında büyüyen çocuklar, topluma olumlu katkı sağlayacaktır (Sapsağlam ve Eryılmaz, 2024). Özellikle risk altında olan dezavantajlı çocuklar, kapsayıcı bir çevrede yerel düzeyde alınacak önlemlerle daha iyi yaşam koşullarına kavuşacaktır (Topsümer vd., 2009). Ayrıca çocuk dostu şehirlerde karar süreçlerine katılan çocuklarda şehre aidiyet duygusu gelişmektedir. Bu da çocuğun yaşadığı şehirdeki doğal, kültürel ve sosyal değerleri koruyup yaşatmalarını sağlamaktadır (Severcan, 2015). Akgül Yurtgülü (2025) çocuk dostu politikaların bugünün çocuklarına adil ve yaşanabilir bir çevre sunmanın yanı sıra geleceğin yetişkinlerine güven ve aidiyet duygusu kazandırdığını vurgulamaktadır. Bu bağlamda şehirlerin çocuk dostu şehir özelliklerine uygun şekilde tasarlanıp yönetilmesi, hem şehrin imajına olumlu katkı sağlaması hem de yarının büyükleri olacak çocukların sağlıklı bireyler olarak yetişmeleri açısından çok önemlidir.

Çocuk Dostu Şehir Olarak Tokat'ta Gerçekleştirilen Projeler

2022 yılında Çocuk Dostu Şehirler kategorisinde ödül kazanmış olan Tokat'ta bir çok proje gerçekleştirilmiştir. Bu projelerden öne çıkanlar aşağıda maddeler halinde açıklanmıştır.

1. Kültür ve Turizm Bakanlığı'nın katkılarıyla 2019 yılında Tokat'ta Türkiye'nin ilk müstakil "Bebek ve Çocuk Kütüphanesi" kurulmuştur (www.iletisim.gov.tr). Bebek ve Çocuk Kütüphaneleri, bebeklik döneminden itibaren çocuklara okuma alışkanlığı kazandırmayı ve erken yaşta gelişimlerini desteklemeyi amaçlamaktadır (Güneş ve Canatar, 2020). Gelişimin en hızlı olduğu erken çocukluk döneminde dil gelişimi, bilişsel gelişim ve sosyal gelişim alanlarına önemli katkı sağlayan bu kütüphanelerden bebek ve çocuklar ebeveynleri ile birlikte gelerek yararlanabilmektedir. Kütüphanede çocuk kitaplarının yanı sıra oyuncaklar da bulunmaktadır. Ayrıca çocuklara yönelik drama, masal saati, kukla gösterileri ve parmak oyunları gibi çeşitli eğitici etkinlikler düzenlenmektedir. Böylece çocukların akranlarıyla sosyalleşmesine de katkı sağlamaktadır. Tokat'ta açılan bu kütüphane de, 0-3 yaş grubundaki çocukların erken yaşta okuma kültürü kazanarak gelişimlerine katkı sağlamayı hedeflemektedir. Şu anda geçici olarak Tokat İl Halk Kütüphanesine taşınmıştır. Kütüphaneye ilişkin fotograf Görsel 2'de yer almaktadır.

Görsel 2. Tokat Bebek ve Çocuk Kütüphanesi



2. Tokat Belediyesi, 2022 yılında çocukların Tokat'la ilgili hayallerini öğrenmek için "Çocuktan Al Haberi" proje yarışması düzenlenmiştir. Çocuk Dostu Şehir Tokat Projesi kapsamında Tokat Belediyesi Bilgi Evleri'nde eğitim alan çocuklar "Çocuktan Al Haberi" proje yarışmasına katılmıştır. Projenin amacı kentin tasarımına çocukların bakış açısından katkı sağlamaktır. Verilen 15 günlük sürede hazırlıklarını tamamlayan çocuklar, projelerinin sunumunu yapmış ve yarışmada dereceye giren projeler ise Tokat Belediye Meclis Toplantısı'nda gündeme alınmıştır (www.tokat.bel.tr). Projeye ilişkin fotograf Görsel 3'te yer almaktadır.

Görsel 3. Çocuk Dostu Şehir Tokat Projesi



Kaynak: https://www.trthaber.com/haber/

3. Çocukların güvenle oynayıp sosyalleşebilmeleri için şehirn çeşitli bölgelerinde oyun parkları ve yeşil alanlar yer almaktadır. Bunlar arasında Tokat Belediyesi Trafik Eğitim Parkı, Papatya Parkı, Tokat Millet Bahçesi, Dudayev Parkı ve Lunapark bulunmaktadır. Trafik Eğitim Parkında çocuklar trafik kurallarını parkurlarda eğlenerek öğrenmektedir. Bu da çocukların tarfik kültürünü ve kuralların önemini erken yaşta farkederek bilinçlenmelerini sağlamaktadır. Trafik Eğitim Parkına ilişkin fotograf Görsel 4'te yer almaktadır.

Görsel 4. Trafik Eğitim Parkı



4. Tokat Belediyesi, ilki 2025 yılında, ikincisi ise 2026 yılında yaz döneminde Geleneksel Mahalle Şenlikleri adı altında, şehrin 13 farklı noktasında çocukların aileleriyle katılabileceği akıl ve zekâ oyunları, palyaço ve illüzyon gösterileri, yüz boyama, balon katlama etkinlikleri, ödüllü mini yarışmalar, çocuk tiyatrosu ve konseri, masal anlatımı ve Nasrettin Hoca gösterisi gibi etkinlikler düzenlemektedir. Bu şenlikle hem çocukların güvenli ve gelişimlerini olumlu yönde destekleyecek bir ortamda eğlenmelerini ve öğrenmelerini sağlamayı hem de kültürel zenginliklerimizi, sosyal dayanışmayı ve komşuluk bağlarını canlandırmayı amaçlamaktadır (www.tokat.bel.tr).

SONUÇ

Birleşmiş Milletler, çocukların sağlıklı bir hayat sürmeleri için çeşitli çalışmalar yürüten uluslararası bir kuruluştur. 21. yüzyılın başlarından itibaren "Çocuk Dostu Şehir" kavramı önemli bir fikir olarak ortaya çıkmış ve çocuk haklarına dair artan farkındalıkla birlikte son yıllarda giderek önem kazanmıştır (Sapsağlam ve Eryılmaz, 2024). Türkiye'de de bazı şehirler bu doğrultuda projeler üreterek hem çocuklara daha güvenli ve sağlıklı bir çevre sunmayı hem de vatandaşlara kaliteli hizmet sunarak şehrin imajına katkı sağlamayı hedeflemektedir. Bu araştırmada çocuk dostu şehir olma sürecinde Tokat'ta gerçekleştirilen projeler incelenmiştir. İleride yapılacak araştırmalarda farklı şehirlerde yapılan çalışmalar incelenebilir. Ayrıca ulusal politikalarla şehirlerin çocuk dostu şehir olması desteklenebilir.

KAYNAKÇA

Akgül Yurtgülü, R. (2025). *Çocuk dostu kentsel politikalar: Konya Büyükşehir Belediyesi için bir değerlendirme.* Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Karamanoğlu Mehmetbey Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Karaman.

Aral, B. (2013). *Birleşmiş Milletler ve Uluslararası Eşitsizlik*, Ankara: SETA yay.

Aydoğan, T. G. (2020). *Çocuk dostu kent yaklaşımının değerlendirilmesi.* Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Aydoğan T.G. & Dilek, E. F. (2024). Çocuk Dostu Kentsel Planlama ve Tasarım Ölçütleri. *GSI Journals Serie A: Advancements in Tourism, Recreation and Sports Sciences (ATRSS),*7 (1): 188-211.

Çakırer Özservet, Y. (2016). Çocuklar için Katılımcı Yerel Yönetimler, (Ed. Erbay, Ercüment) *Çocuk Katılımı* içinde (s. 91 -128), Nobel Yayıncılık.

Dirican, R. (2018). Tarihi süreçte çocukluk ve çocuk hakları. *Çocuk ve Gelişim Dergisi,* 2(2), 51-62.

Günes, A. ve Canatar, M. (2020). Halk kütüphanelerinde bebek kullanıcılara yönelik hizmetler. *Bilgi ve Belge Araştırmaları Dergisi,* 13, 55–80. https://doi.org/10.26650/bba.2020.13.03

https://www.iletisim.gov.tr/turkce/yerel_basin/detay/tokatta-turkiyenin-ilk-mustakil-bebek-ve-

cocuk-kutuphanesi-hizmet-vermeye-basladi
https://tokat.bel.tr/haberler/tokat-belediyesi-2-geleneksel-mahalle-senlikleri-basliyor
https://www.trthaber.com/haber/guncel/tokatta-cocuktan-al-haberi-proje-yarismasi-duzenlendi-729322.html
Karataş, A. (2013). *Çevre bilincinin geliştirilmesinde çevre eğitiminin rolü ve Niğde Üniversitesi Eğitim Fakültesi örneği.* Yayınlanmamış Doktora Tezi, Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Ankara.
Öktem, K., & Akpınar, İ. E. (2019). Çocuk Dostu Şehirler: Lüleburgaz Örneği. *Hukuk ve İktisat Araştırmaları Dergisi,* 11(2), 112-132. https://izlik.org/JA72KB39ES
Özdemir, E. (2013, Mart 27-31). Daha yaşanabilir kentlere doğru: Kentsel Açık mekânlarda 'Öteki'için tasarım. 25. Uluslararası Yapı ve Yaşam Kongresi, TMMOB Mimarlar Odası Bursa Şubesi, Bursa, Türkiye. 305-310.
Riggio, E. (2002) Child Friendly Cities:Good Governance in the Best Interests of the Child. *Environment and Urbanization.* Vol.14. No.2:45-58.
Sapsağlam, Ö.; Eryılmaz, A. (2024). Building Child-Friendly Cities for Sustainable Child Development: Child-Friendly City Scale-Child Form. *Sustainability*, 16, 1228.
Severcan, Y. C. (2015). Çocukların Gözünden Çocuk Dostu Yer Kavramı ve Yaşanılan Çevrelerin Değerlendirilmesi: İstanbul Örneği. *İdealkent*, 6(17), 140-181. https://izlik.org/JA85KC45GC
Tandoğan, O. (2014). Çocuk İçin Daha Yaşanılır Bir Kentsel Mekân: Dünyada Gerçekleştirilen Uygulamalar. *Megaron*, 9(1), 19-33. DOI: 10.5505/MEGARON.2014.43534
Topsümer, F., Babacan, E., & Baytekin, E. P. (2011). Şehir ve Çocuk: Çocuk Dostu Şehir Girişiminin Şehir İmajına Katkısı. *İstanbul Üniversitesi İletişim Fakültesi Dergisi | Istanbul University Faculty of Communication Journal,* 35, 5-20. https://doi.org/10.17064/iüifhd.26040

ALLİUM SP.'NİN MİKRO ÇOĞALTIMI

Dr. Muhammet Anıl AYDIN
Orcid No: 0000-0001-6729-6465
Prof. Dr. Gülsüm ÖZTÜRK
Orcid No: 0000-0002-8701-790X
Ege University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops, 35040, Bornova, Izmir, Türkiye

ÖZET
Nergisgiller familyasına ait bir geotif olan, *Allium sp.* doğal olarak yetişen bir türdür. Çoğaltımda soğanları kullanılan bu tür, süs bitkisi olarak kullanımı yanında sekonder metabolit bakımından da oldukça zengindir. Bu çalışmada doğal olarak yetişen yabani sarımsak olarak adlandırılan *Allium sp.* soğanları eksplant kaynağı olarak kullanılmıştır. Yüzey sterilizasyonu yapılan soğanlar 3 mg/L (BAP, Kinetin ve Zeatin) içeren ortamlarda kültüre alınmıştır. Farklı sitokinin içeren ortamlar sürgün sayısı, sürgün uzunluğu, kök sayısı ve kök uzunluğu bakımından karşılaştırılmıştır. Tüm özellikler bakımından 3 mg/L Zeatin içeren ortam başarılı bulunmuştur. Bu sonuçlar *Allium sp* türlerinin *in vitro* çoğaltım potansiyelini ortaya koymakla birlikte, bu türün sekonder metabolit yönünden değerlendirilebileceği yönünde bir ön çalışma olarak da fikir verebilir.
Anahtar kelimeler: *Allium* sp, *in vitro*, sitokinin

IN VITRO PROPAGATION OF *ALLIUM* SP.

ABSTRACT
Allium sp., a naturally occurring geophyte belonging to the family Amaryllidaceae, is propagated through bulbs and is valued both as an ornamental plant and as a valuable source of secondary metabolites. In this study, bulbs of naturally growing *Allium* sp., commonly known as wild garlic, were used as an explant source. Following surface sterilization, the bulbs were cultured on media supplemented with 3 mg L^{-1} BAP, Kinetin, or Zeatin. Media containing different cytokinins were compared in terms of shoot number, shoot length, root number, and root length. The medium containing 3 mg L^{-1} Zeatin performed best in terms of shoot number, shoot length, root number, and root length. These results demonstrate the *in vitro* propagation potential of *Allium* sp. and may also provide initial insights into the potential evaluation of this species in terms of secondary metabolite.
Keywords: *Allium* sp, *in vitro*, cytokinin

GİRİŞ
Allium türleri, sahip oldukları çeşitli tıbbi özellikleriyle geleneksel tıpta yaygın olarak kullanılmaktadır (Gorrepati et al., 2024). Allium cinsi, *Asparagales* takımının *Amaryllidaceae* familyasında yer alan, adını Eski Roma'da sarımsak için kullanılan 'Allium' veya 'Alium' isimlerinden almıştır. Bölgesel olarak kullanılan bu isim daha sonra 18. yüzyılda cinse verilen bilimsel isim olmuştur. *Allium* cinsinin gen merkezinin Orta Asya ve Anadolu olduğu, kültüre alınarak yetiştirilmesinin ise Mezopotamya'da başladığı ifade edilmektedir (Beşirli ve ark., 2025). *Allium* cinsi içerisinde 920'den fazla türün bulunduğu bildirilmiş olup; sarımsak (*Allium sativum*), soğan (*A. cepa* ve *A. cepa* var. *aggregatum*), pırasa (*A. ampeloprasum*), frenk soğanı (*A. schoenoprasum*), Galler soğanı (*A. fistulosum*) ve arpacık soğanı (*A. ascalonicum*) iyi bilinen ve yaygın olarak yetiştirilen türler arasında yer almaktadır (Khandagale et al., 2020).

Allium bitkilerinin yaprak, çiçek, gövde, soğan ve tohum gibi farklı kısımları, çok yönlü kullanım olanaklarıyla çeşitli şekillerde tüketilmektedir. Bu türlere özgü karakteristik tat ve koku; organosülfür bileşikleri (allisin, diallil disülfür), flavonoidler (kuersetin, kaempferol), saponinler ve diğer fitokimyasallar gibi bazı biyoaktif bileşiklerden kaynaklanmaktadır Bu zengin biyoaktif bileşik içeriği sayesinde *Allium* türlerinin; kardiyovasküler ve gastrointestinal sistem üzerinde olumlu etkiler gösterebildiği, ayrıca antimikrobiyal, antiviral, antikanser, antiinflamatuvar ve antioksidan aktivitelere sahip olduğu bildirilmektedir (Gorrepati et al., 2024).

Allium, Türkçede "soğan" anlamında kullanılmaktadır. Cinse ait türler, halk arasında sarımsak (sarmısak), sirmo, körmen, pırasa, sırım ve sirim gibi farklı yerel adlarla da bilinmektedir. Türkiye, *Allium* tür çeşitliliği bakımından oldukça zengin bir floraya sahip olup, ülkede bu cinse ait 222 türün bulunduğu bildirilmektedir. Bununla birlikte, farklı bölgelerde sürdürülen araştırmalar sonucunda cinse ait yeni türlerin tanımlanması da devam etmektedir. *Allium* türleri genellikle ilk yıl vejetatif gelişim, ikinci yıl ise generatif gelişim göstererek çiçeklenmektedir. Erselik yapıdaki çiçekleri mor, lila, pembe, beyaz ve bordo gibi farklı renklerde olabilmekte ve bu özellikleri nedeniyle bazı *Allium* türleri süs bitkisi olarak da değerlendirilmektedir. (Beşirli ve ark., 2025). Bununla birlikte, bazı *Allium* türlerinde doğal vejetatif çoğalma hızının düşük olması, üretimi sınırlandırabilmektedir. Bu nedenle, hızlı ve kontrollü çoğaltıma olanak sağlayan *in vitro* mikroçoğaltım teknikleri *Allium* türlerinin çoğaltılmasında alternatif bir yöntem olarak kullanılmaktadır (Evenor et al., 1997).

Sitokininler doğal olarak bitkinin tüm dokularında bulunmakla birlikte, özellikle kök ucu, sürgün ucu ve olgunlaşmamış tohumlarda daha yüksek düzeylerde bulunmaktadır (Cortleven and Schmülling, 2015). *İn vitro* mikroçoğaltımda sitokininler hücre bölünmesini teşvik etmekte; genellikle tomurcuk ve sürgünlerin gelişimini başlatmak ve çoğalmasını sağlamak amacıyla kullanılmakta, buna karşılık kök oluşumunu yavaşlatabilmektedir (Saad and Elshahed, 2012). Bitki doku kültüründe 6-benzilaminopürin (BAP), Kinetin, Zeatin ve Tidiazuron (TDZ) yaygın olarak kullanılan sitokininler arasında yer almaktadır (Mehbub et al., 2022).

Bu çalışmanın amacı, doğal olarak yetişen ve yabani sarımsak olarak adlandırılan *Allium* sp.'nin *in vitro* çoğaltımında 3.0 mg L^{-1} konsantrasyonunda BAP, Kinetin ve Zeatin uygulamalarının sürgün ve kök gelişimi üzerine etkilerini belirlemektir. Bu kapsamda sürgün sayısı, sürgün uzunluğu, kök sayısı ve kök uzunluğu özellikleri değerlendirilmiştir.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Doku Kültürü Laboratuvarında yürütülmüştür. Bitkisel materyal olarak doğal olarak yetişen ve yabani sarımsak olarak adlandırılan *Allium* sp.'ye ait soğanlar kullanılmıştır. Soğanların dış kabukları temizlendikten sonra %70'lik etil alkol içerisinde 5–6 dakika, ardından %5'lik NaClO (sodyum hipoklorit) içerisinde 5 dakika tutulmuş ve steril distile su ile yıkandıktan sonra besin ortamına alınmıştır. Besin ortamı olarak Murashige ve Skoog (1962) MS+0.1 mg/L GA_3+0.1 mg/L NAA temel ortam olarak kullanılmış ve bu ortama ayrı ayrı 3.0 mg L^{-1} 6-benzilaminopürin (BAP), 3.0 mg L^{-1} Kinetin ve 3.0 mg L^{-1} Zeatin ilave edilmiştir. Kültürler, 25 °C sıcaklıkta, 16 saat aydınlık/8 saat karanlık fotoperiyotta büyüme odasında inkübe edilmiştir. Deneme, Tesadüf Parselleri Deneme Desenine göre üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Kültür süresi sonunda sürgün sayısı, sürgün uzunluğu, kök sayısı ve kök uzunluğu belirlenmiştir. Elde edilen veriler Totemstat (Acikgoz et al., 2004) programı ile hesaplanmış ve ortalamalar Steel and Torrie (1980)'ye göre karşılaştırılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Allium sp soğanlarının *in vitro* rejenerasyonunda sürgün sayısı, sürgün uzunluğu (cm), kök sayısı ve kök uzunluğu (cm) özelliklerine ait ortalamalar ile LSD ve F değerleri Çizelge 1'de verilmiştir. Aynı özelliklere ait ortalamaların histogramları ise Şekil 1'de gösterilmiştir.

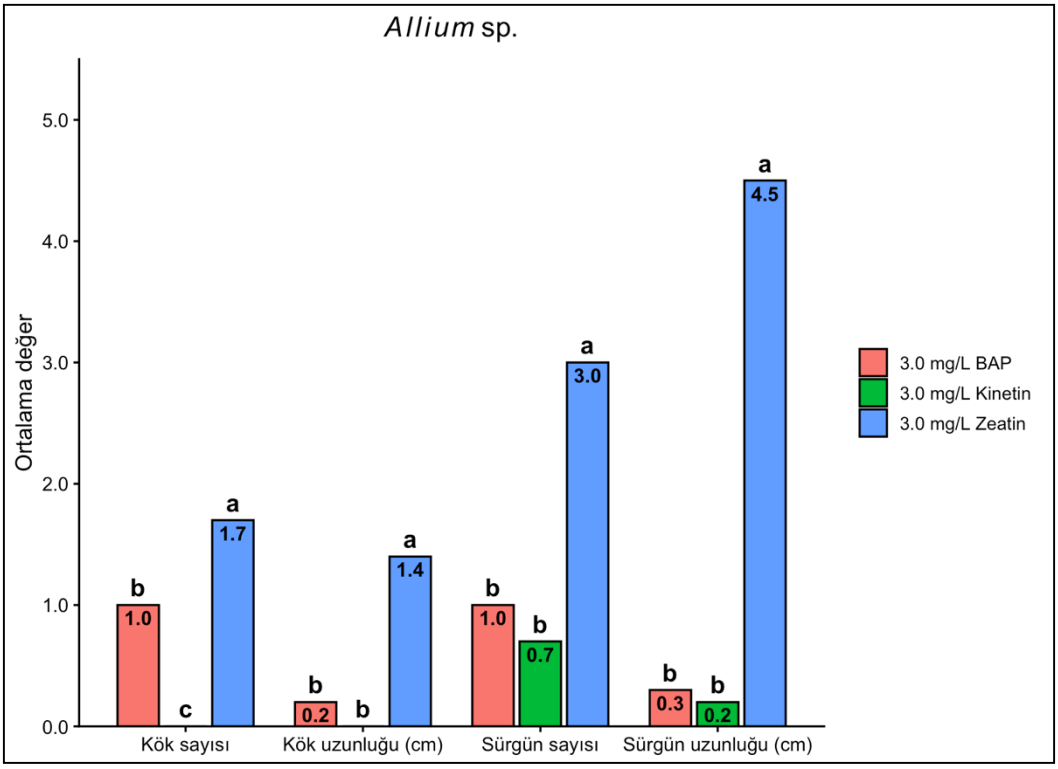
Çizelge 1. *Allium* sp'nin farklı sitokinin içeren besin ortamlarında *in vitro* sürgün sayısı, sürgün uzunluğu (cm), kök sayısı ve kök uzunluğu (cm) özelliklerine ait ortalamalar, LSD ve F değerleri

Ortam no	Ortam	Sürgün sayısı	Sürgün uzunluğu (cm)	Kök sayısı	Kök uzunluğu (cm)
1	**3.0 mg L^{-1} BAP**	1.0^{b}	0.3^{b}	1.0^{b}	0.2^{b}
2	**3.0 mg L^{-1} Kinetin**	0.7^{b}	0.2^{b}	0.0^{c}	0.0^{b}
3	**3.0 mg L^{-1} Zeatin**	3.0^{c}	4.5^{a}	1.7^{a}	1.4^{a}
	$LSD_{(0.05)}$	0.666	0.799	0.666	0.421
	F Değeri	13.000**	111.257**	19.000**	37.975**

**: $p \leq 0.01$ düzeyinde önemli

Çizelge 1'de verilen F değerleri incelendiğinde, *Allium* sp.'de sürgün sayısı, sürgün uzunluğu, kök sayısı ve kök uzunluğu bakımından uygulamalar arasındaki farklılıkların $p \leq 0.01$ düzeyinde istatistiksel olarak önemli olduğu görülmektedir. En yüksek değerler 3.0 mg L^{-1} Zeatin içeren besin ortamından elde edilmiş; bu ortamda sürgün sayısı 3.0 adet, sürgün uzunluğu 4.5 cm, kök sayısı 1.7 adet ve kök uzunluğu 1.4 cm olarak belirlenmiştir. Niu et al. (2026) sarımsakta Zeatin içeren kültür ortamlarının sürgün organogenezini ve *in vitro* çoğaltım etkinliğini artırdığını, özellikle Zeatin ve IAA kombinasyonlarının sürgün gelişimi bakımından başarılı sonuçlar verdiğini bildirmiştir. Bu bulgular, Zeatinin *Allium* türlerinde sürgün gelişiminin teşvik edilmesinde etkili bir sitokinin olabileceğini göstermektedir. Çalışmamızda Zeatin+NAA kombinasyonu kullanılmış olup bu araştırıcıların sonuçları ile uyumlu bulunmuştur. Buna karşılık, BAP içeren ortamda sürgün ve kök gelişimi sınırlı düzeyde gerçekleşirken, kinetin uygulamasında kök oluşumu gözlenmemiştir. Benzer bir sonuç Boonerjee et al. (2006) tarafından *Allium cepa*'da da bildirilmiş ve kinetin içeren ortamda kök gelişiminin gerçekleşmediği belirtilmiştir. Bu benzerlik, kinetinin bazı *Allium* türlerinde kök gelişimi üzerinde sınırlayıcı bir etki oluşturabileceğine işaret etmektedir.

Bu sonuçlar, kullanılan sitokinin türünün *Allium* sp.'nin *in vitro* rejenerasyonu üzerinde önemli farklılıklar oluşturduğunu ve incelenen özellikler bakımından Zeatinin BAP ve Kinetine göre daha etkili olduğunu göstermektedir. *Allium* sp.'nin farklı sitokinin içeren besin ortamlarında sürgün sayısı, sürgün uzunluğu, kök sayısı ve kök uzunluğuna ait ortalama değerlerin dağılımı Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. Farklı sitokinin uygulamalarında *Allium* sp.'nin sürgün ve kök gelişimine ait ortalama değerler

SONUÇ

Bu çalışmadan elde edilen bulgular, doğal olarak yetişen ve yabani sarımsak olarak adlandırılan *Allium* sp.'nin *in vitro* koşullarda çoğaltılabileceğini göstermiştir. Kullanılan sitokininler arasında 3.0 mg L^{-1} Zeatin içeren ortam, sürgün sayısı, sürgün uzunluğu, kök sayısı ve kök uzunluğu bakımından en yüksek değerleri vermiştir. BAP ve kinetin uygulamalarında gelişim daha sınırlı kalmış, özellikle kinetin içeren ortamda kök oluşumu gerçekleşmemiştir. Bu sonuçlar, *Allium* sp.'nin *in vitro* gelişiminin kullanılan sitokinin türüne bağlı olarak değiştiğini ve Zeatinin bu tür için daha uygun bir sitokinin olduğunu ortaya koymaktadır. Bu çalışma, *Allium* sp.'nin *in vitro* çoğaltımına yönelik bir ön çalışma niteliğinde olup, ilerleyen araştırmalarda farklı bitki büyüme düzenleyicileri ve dozlarının değerlendirilmesi önerilmektedir.

KAYNAKLAR

Acikgoz, N., Ilker, E., and Gokcol, A., 2004. Assessment of biological research on the computer. Ege University, TOTEM, Izmir.

Beşirli, G., Alan, A. R., Çelebi Toprak, F., Sönmez, İ., Güner, E. ve Okumuş, R. (2025). Türkiye'de Yenilebilir Yabani ve Kültür Allium Türlerinin Süs Bitkisi Olarak Kullanım Potansiyeli. Bahçe, 54(Özel Sayı 1), 469-476. https://doi.org/10.53471/bahce.1617064

Boonerjee, S., Sen, P. K., Alam, M. F. and Rahman, S. M. (2006). Micropropagation of onion (*Allium cepa* L.) through bulblet formation. Khulna University Studies, 55–58. https://doi.org/10.53808/KUS.2006.7.1.0501-L

Cortleven, A. and Schmülling, T. (2015). Regulation of chloroplast development and function by cytokinin. Journal of experimental botany, 66(16), 4999-5013. https://doi.org/10.1093/jxb/erv132

Evenor, D., Lilien-Kipnis, H., Watad, A.A. and Raungian, P. (1997). Micropropagation of

Ornamental *Allium*: *Aflatunense* and *Ampeloprasum*. Acta Hortic. 447, 135-138. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1997.447.19

Gorrepati, K., Krishna, R., Singh, S., Shirsat, D. V., Soumia, P. S. and Mahajan, V. (2024). Harnessing the nutraceutical and therapeutic potential of Allium spp.: Current insights and future directions. *Frontiers in Nutrition*, *11*, 1497953. doi: 10.3389/fnut.2024.1497953

Khandagale, K., Krishna, R., Roylawar, P., Ade, A. B., Benke, A., Shinde, B., Singh, M., Gawande, S. J. and Rai, A. (2020). Omics approaches in *Allium* research: Progress and way ahead. *PeerJ, 8*, e9824. https://doi.org/10.7717/peerj.9824

Mehbub, H., Akter, A., Akter, M. A., Mandal, M. S. H., Hoque, M. A., Tuleja, M. and Mehraj, H. (2022). Tissue Culture in Ornamentals: Cultivation Factors, Propagation Techniques, and Its Application. *Plants*, *11*(23), 3208. https://doi.org/10.3390/plants11233208

Murashige T., Skoog F. (1962). A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco cultures. Physiologia Plantarum, 15: 473–479.

Niu, X., Liu, B., Zhang, Q., Zhang, K., Wang, J., Liu, H., Hui, M., Wang, X., Chen, S. and Wang, S. (2026). Establishment and Optimization of a High-Coefficient In Vitro Shoot Organogenesis System for Garlic Cultivar Gailiangsuan. *Agriculture*, *16*(7), 811. https://doi.org/10.3390/agriculture16070811

Saad, A. I. and Elshahed, A. M. (2012). Plant tissue culture media. Recent advances in plant in vitro culture, 25(7), 30-40. http://dx.doi.org/10.5772/50569

Steel R. G. D., Torrie J. H. (1980). Principles and procedures of statistics. McGraw-Hill Book Company.

LALE'NİN İN VİTRO SÜRGÜN REJENERASYONUNUN ARAŞTIRILMASI

Dr. Muhammet Anıl AYDIN
Orcid No: 0000-0001-6729-6465
Prof. Dr. Gülsüm ÖZTÜRK
Orcid No: 0000-0002-8701-790X
Ege University, Faculty of Agriculture, Department of Field Crops, 35040, Bornova, Izmir, Türkiye

ÖZET
Lale *Liliaceae* familyasına ait gösterişli çiçekleri ile önemli bir süs bitkisidir. Ticari türleri vegetatif olarak soğan ile çoğalmaktadır. Ancak soğanla üretimde çoğalma hızı yavaş olup geniş alanlarda üretim için yeterli potansiyel oluşmamaktadır. Bu aşamada alternatif çoğaltım için *in vitro* teknikler tercih edilmektedir. Bu çalışmada lale bitkisinin ticari olarak piyasa da yer alan soğanları eksplant kaynağı olarak kullanılmış ve *in vitro* çoğaltım potansiyeli araştırılmıştır. Bu amaçla farklı konsantrasyonda MS+BAP (6-*Benzilaminopurin*) içeren ortamlar karşılaştırılmıştır. Sürgün sayısı bakımından 0.1, 0.5, 1.0 ve 2.0 mg/L BAP uygulamalarında 1.00 adet sürgün elde edilmiş ve uygulamalar aynı istatistiksel grupta yer almıştır. Sürgün uzunluğu bakımından en yüksek ortalama 3.10 cm ile 0.5 mg/L BAP uygulamasından elde edilmiştir. Bu sonuçlar ile lale soğanlarının ticari üretiminde *in vitro* çoğaltım potansiyelinin değerlendirilebileceği görülmüştür.
Anahtar kelimeler: Lale, soğan, *in vitro* sürgün, BAP

INVESTIGATION OF IN VITRO SHOOT REGENERATION IN TULIP

ABSTRACT
Tulip, a geophyte have the family Liliaceae, is an important ornamental plant valued for its showy flowers. Commercial tulips are propagated vegetatively through bulbs rather than seeds. However, the slow multiplication rate of bulbs limits the availability of planting material for large-scale production. Therefore, *in vitro* techniques are increasingly used as an alternative propagation method. In this study, commercial tulip bulbs were used as an explant source to investigate their *in vitro* propagation potential. For this purpose, MS media supplemented with different concentrations of BAP (6-benzylaminopurine) were compared No differences were observed among the 0.1, 0.5, 1.0, and 2.0 mg L^{-1} BAP treatments in terms of shoot number, with 1.00 shoot obtained in each treatment, whereas the medium containing 0.5 mg L^{-1} BAP performed best in terms of shoot length, with a value of 3.1 cm. These findings suggest that *in vitro* propagation of tulip bulbs has potential for commercial production.

Keywords: Tulip, bulb, shoot, BAP

GİRİŞ
Lale (*Tulipa spp*.), Zambakgiller (*Liliaceae*) familyasına ait, Orta Asya kökenli ve ekonomik açıdan önemli bir süs bitkisidir. Orta Asya'dan Anadolu'ya kadar geniş bir coğrafyada doğal yayılış gösteren, çiçek rengi çeşitliliği ile uzun yıllardır kesme çiçek, saksı bitkisi ve dış mekan düzenlemelerinde kullanılmaktadır (Taghi et al., 2007; Doğan Kalyoncu, 2007; Maślanka and Bach, 2014; Öztürk, 2021).
Lale adını Farsça "Toliban" (turban) sözcüğünden almış monokotil bir bitkidir. Laleler genellikle 10–30 cm boylanmakta, 2–8 adet etli yaprak taşımakta ve Mart–Mayıs aylarında

çiçeklenmektedir. Soğanları zarımsı bir kabukla çevrilidir. Yaklaşık 125 tür içeren Tulipa cinsinin yalnızca sınırlı sayıdaki türü ticari olarak yetiştirilmektedir. Türler Eriostemones ve Leiostemones olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. Yaklaşık 30 tür içeren Eriostemones grubu daha zayıf gelişme ve dar yapraklarla karakterize edilirken, günümüzde yetiştirilen bahçe lalelerinin büyük bölümü Leiostemones grubunda yer almaktadır (Doğan Kalyoncu, 2007).

Lalede yeni çeşitlerin geliştirilmesi uzun ve maliyetli bir süreçtir. İlk fidelerin seçiminden yeni çeşide ait 10.000 soğanın üretilerek piyasaya sunulmasına kadar geçen süre 20–25 yılı bulabilmektedir. *In vitro* çoğaltım yöntemleri bu süreyi kısaltma potansiyeline sahip olmakla birlikte, lalede geliştirilen rejenerasyon sistemlerinin etkinliği sınırlı kalmıştır. 1980'lerden 2000'li yılların başına kadar yürütülen çalışmalarda, soğan pulları, vejetatif tomurcuklar ve çiçek saplarından doğrudan sürgün veya mikro soğan rejenerasyonu araştırılmış; en yüksek rejenerasyon potansiyeli çiçek sapı eksplantlarında bulunmuştur. Bununla birlikte, adventif sürgün veya soğanların döngüsel çoğaltımını içermeyen bu sistemlerde bir soğandan yaklaşık 200 mikro soğan elde edilebilmiştir (Podwyszyńska and Marasek-Ciolakowska, 2020). Buna karşılık, soğanlı bitkilerin *in vitro* mikro çoğaltımıyla tek bir soğandan yaklaşık 1,6 yılda 1.000 yavru soğan üretilebilirken, doğal çoğaltım koşullarında aynı sayıya ulaşılması yaklaşık 16 yıl sürebilmektedir (Rees and Hanks, 1979).

Besin ortamına eklenen bitki büyüme düzenleyicilerinin türü ve konsantrasyonu, *in vitro* sürgün rejenerasyonu ve çoğaltım başarısını etkileyen önemli faktörler arasında yer almaktadır. Sitokinin grubunda yer alan BAP (6-benzilaminopürin), özellikle hücre bölünmesi, tomurcuk gelişimi ve sürgün çoğaltımının teşvik edilmesi amacıyla doku kültürü çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda farklı BAP konsantrasyonlarının sürgün çoğaltımı üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir (Ibrahim and Draaj, 2020; Tagimanova et al., 2025).

Bu çalışmanın amacı, lalede farklı BAP konsantrasyonlarının *in vitro* koşullarda sürgün oluşumu ve gelişimi üzerine etkilerini belirlemek ve sürgün sayısı ile sürgün uzunluğu bakımından en etkili BAP konsantrasyonunu ortaya koymaktır.

MATERYAL VE YÖNTEM

Çalışma, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarla Bitkileri Bölümü Doku Kültürü Laboratuvarında yürütülmüştür. Bitkisel materyal olarak ticari olarak temin edilen lale (*Tulipa* spp.) soğanları kullanılmıştır. Soğanların dış kabukları uzaklaştırılarak kaba temizlikleri yapılmıştır. Kaba temizliği yapılan tohumlar % 70'lik etil alkol, % 5'lik NaClO (Sodyum hipoklorit) içerisinde sırasıyla 5 dakika tutulmuş, steril distile su ile yıkanarak besin ortamına alınmıştır. Besin ortamı olarak Murashige and Skoog (1962) temel ortamı MS+0.2 mg/L GA_3+0.2 mg/L NAA kullanılmış ve ortama 0.1, 0.5, 1.0 ve 2.0 mg L^{-1} 6-benzilaminopürin (BAP) ilave edilmiştir. Kültürler 25 °C'de gelişmeye bırakılmıştır. Deneme, Tesadüf Parselleri Deneme Desenine göre üç tekerrürlü olarak yürütülmüştür. Kültür süresi sonunda sürgün sayısı ve sürgün uzunluğu belirlenmiştir. Elde edilen veriler R programı (version 4.5.1; R Core Team, 2025) kullanılarak analiz edilmiş ve ortalamalar Steel and Torrie (1980)'ye göre karşılaştırılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

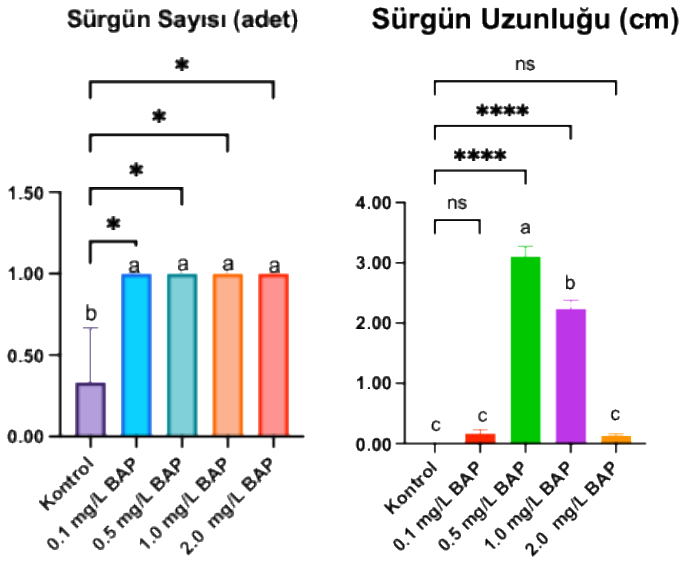
Lale soğanlarının *in vitro* kültüründe farklı BAP konsantrasyonlarının sürgün sayısı ve uzunluğu (cm) üzerine etkilerine ait ortalamalar ile LSD ve F değerleri Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Farklı BAP konsantrasyonlarının lale eksplantlarında *in vitro* sürgün gelişimi üzerine etkileri

Ortam no	Ortam	Sürgün sayısı (adet)	Sürgün uzunluğu (cm)
	Kontrol	0.33 ± 0.33^{b}	0.00 ± 0.00^{c}
1	**0.1 mg/L BAP**	1.00 ± 0.00^{a}	0.17 ± 0.07^{c}
2	**0.5 mg/L BAP**	1.00 ± 0.00^{a}	3.10 ± 0.17^{a}
3	**1.0 mg/L BAP**	1.00 ± 0.00^{a}	2.23 ± 0.15^{b}
4	**2.0 mg/L BAP**	1.00 ± 0.00^{a}	0.13 ± 0.03^{c}
	LSD$_{(0.05)}$	0.47	0.34
	F Değeri	4.00*	183.01**

**: p≤0.01 düzeyinde önemli
*: p≤0.05 düzeyinde önemli

Çizelge 1'de yer alan F değerleri incelendiğinde, farklı BAP konsantrasyonlarının sürgün sayısı üzerine etkisinin p≤0.05, sürgün uzunluğu üzerine etkisinin ise p≤0.01 düzeyinde istatistiksel olarak önemli olduğu belirlenmiştir. Sürgün sayısı bakımından 0.1, 0.5, 1.0 ve 2.0 mg L^{-1} BAP uygulamalarında 1.00 adet sürgün elde edilmiş ve uygulamalar aynı istatistiksel grupta yer almıştır. Kontrol uygulamasında ise sürgün sayısı 0.33 adet olarak saptanmıştır. Sürgün uzunluğu açısından uygulamalar arasında belirgin farklılıklar ortaya çıkmış; en yüksek değer 3.10 cm ile 0.5 mg L^{-1} BAP uygulamasından elde edilmiştir. Bunu 2.23 cm ile 1.0 mg L^{-1} BAP uygulaması izlemiştir. Buna karşılık, 0.1 ve 2.0 mg L^{-1} BAP uygulamalarında sürgün uzunluğu sırasıyla 0.17 ve 0.13 cm olarak belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, BAP konsantrasyonunun lalenin *in vitro* sürgün gelişimini etkilediğini ve özellikle 0.5 mg L^{-1} BAP uygulamasının sürgün uzaması bakımından daha iyi bir yanıt oluşturduğunu göstermektedir. Benzer sonuçlar farklı BAP konsantrasyonlarının lalede sürgün çoğaltımı ve gelişimi üzerine etkili olabildiği daha önceki çalışmalarda da bildirilmiştir (Taeb and Alderson, 1990; Ibrahim and Draaj, 2020; Tagimanova et al., 2025). Farklı BAP konsantrasyonlarında elde edilen sürgün sayısı ve sürgün uzunluğu ortalamaları Şekil 1'de sunulmuştur.



Şekil 1. Farklı BAP konsantrasyonlarında kültüre alınan lale (*Tulipa* spp.) eksplantlarının sürgün sayısı ve sürgün uzunluğu (cm) ortalamalarının dağılımı.

SONUÇ

Bu çalışmada, farklı BAP konsantrasyonlarının lale eksplantlarının *in vitro* sürgün gelişimi üzerine etkileri belirlenmiştir. BAP uygulamalarının sürgün sayısı ve sürgün uzunluğu üzerinde istatistiksel olarak önemli farklılıklar oluşturduğu saptanmıştır. Sürgün sayısı bakımından 0.1, 0.5, 1.0 ve 2.0 mg L^{-1} BAP uygulamalarında benzer sonuçlar elde edilirken, sürgün uzunluğu açısından en yüksek değer 3.10 cm ile 0.5 mg L^{-1} BAP uygulamasından elde edilmiştir. Bu uygulamayı 1.0 mg L^{-1} BAP izlemiş, daha düşük ve daha yüksek BAP konsantrasyonlarında ise sürgün uzamasının sınırlı kaldığı görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, BAP konsantrasyonunun lalenin *in vitro* sürgün gelişiminde belirleyici olduğunu ve 0.5 mg L^{-1} BAP konsantrasyonunun sürgün uzaması bakımından uygun olduğunu göstermektedir. Bu bulguların, lalenin *in vitro* çoğaltım protokollerinin geliştirilmesine ve ticari çoğaltım çalışmalarına katkı sağlayabileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte bu türün çoğaltımında uygun BAP dozunun belirlenmesi amacıyla farklı BAP konsantrasyonları ile başka çalışmaların yapılması önerilmektedir. Bu çalışma bir ön çalışma niteliğinde olup lale bitkisinin *in vitro* rejenerasyonunda farklı hormon kombinasyonları ve dozları uygulanabilir.

KAYNAKLAR

Doğan Kalyoncu, D. (2007). Bazı yabani Tulipa türlerinde in vitro soğancık üretimi [Doktora tezi, Ankara Üniversitesi]. Ankara.

Ibrahim, M. A. and Draaj, I. A. (2020). Effect of different concentrations of BA on the shoot multiplication of tulip (Tulipa gesneriana L. cv. Arma) buds by in vitro culture. *DYSONA–Applied Science*, *1*(3), 96-100. http://dx.doi.org/10.30493/DAS.2020.240387

Maślanka, M. (2025). Effect of light spectrum, sucrose concentration, and 6-benzyl-aminopurine on in vitro adventitious bulb formation in Tulipa tarda. *Agronomy*, *15*(3), 642. https://doi.org/10.3390/agronomy15030642

Maślanka, M. and Bach, A. (2014). Induction of bulb organogenesis in in vitro cultures of tarda tulip (Tulipa tarda Stapf.) from seed-derived explants. *In Vitro Cellular & Developmental Biology*, *50*(6), 712. doi: https://doi.org/10.1007/s11627-014-9641-1

Murashige, T., & Skoog, F. (1962). A revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia plantarum*, *15*(3), 473-497. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x

Ozturk, G. (2021). *In Vitro* Regeneratıon of Tulip (*Tulipa* L.). ASTANA International Conference on Scientific Research, Nur-Sultan, Kazakistan, 23 - 24 Ekim 2021, ss.164-168.

Podwyszyńska, M. and Marasek-Ciolakowska, A. (2020). Micropropagation of Tulip via Somatic Embryogenesis. Agronomy, 10(12), 1857. https://doi.org/10.3390/agronomy10121857

R Core Team. (2025). *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.

Rees, A. R. and Hanks, G. R. (1979). Potential uses of plant growth regulators in bulb growing and forcing. In *Symposium on Growth Regulators in Floriculture 91* (pp. 153-160).

Steel, R.G.D. and Torrie, J.H. (1980). Principles and procedures of statistics. A biometrical approach, 2nd Edition, McGraw-Hill Book Company, New York.

Taeb, A. G. and Alderson, P. G. (1990). Shoot production and bulbing of tulip *in vitro* related to ethylene. *Journal of Horticultural Science*, *65*(2), 199–204. https://doi.org/10.1080/00221589.1990.11516047

Taghi, Z. M., Babalar, M., Zamani, Z. A., Naderi, R. and Askari, M. A. (2007). Direct and indirect regeneration of adventitious shoots in ornamental *Tulipa gesneriana* L.'Apeldoorn'by using in vitro culture method. Iranian Journal of Agricultural Sciences (Journal of Agriculture), 37(6), 1031-1039. SID. https://sid.ir/paper/8392/en

Tagimanova, D., Raiser, O., Kubentayeva, B., Nagmetova, G., Turzhanova, A., & Khapilina, O. (2025). In vitro propagation of endemic kazakh tulips: Effects of temperature and growth regulators. *Plants*, *14*(19), 3014. https://doi.org/10.3390/plants14193014

ŞEF ADAYLARININ PROFESYONEL MUTFAKLARDAKİ HİYERARŞİ, CİNSİYET AYRIMCILIĞI, YARATICILIK VE SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK ALGILARININ METAFORİK ANALİZİ

Levent KAVAK
Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Turizm Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, 15030 Merkez, Burdur
ORCID ID: 0009-0009-2407-0584
Doç. Dr. Kadir ÇETİN
Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Turizm Fakültesi, Gastronomi ve Mutfak Sanatları Bölümü, 15030 Merkez, Burdur
ORCID ID: 0000-0003-0102-8913

ÖZET
Bu araştırma, gastronomi öğrencilerinin profesyonel mutfağa ilişkin hiyerarşi, cinsiyet ayrımcılığı, yaratıcılık ve sürdürülebilirlik kavramlarını metaforlar aracılığıyla nasıl anlamlandırdığını konu edinir. Temel nitel desenin benimsendiği çalışmada veriler cümle tamamlama formuyla toplanmıştır. Form, Nisan-Mayıs 2026 döneminde çevrimiçi olarak uygulanmış ve çalışma grubu ölçüt örnekleme yoluyla belirlenmiştir. Katılımcılar, Türkiye'nin farklı üniversitelerinde gastronomi ve mutfak sanatları öğrenimi gören ve profesyonel mutfakta staj deneyimi bulunan öğrencilerdir. Ayıklamanın ardından 161 katılımcıdan 617 geçerli metafor elde edilmiş, veriler içerik analiziyle çözümlenmiştir. Temalar kavramsal metaforlara dönüştürülmüş, kaynak alanların kavramlar arası örtüşmesi bir kavram × kaynak alanı tablosunda karşılaştırılmış, temaların cinsiyete göre dağılımı ise betimsel düzeyde karşılaştırılmıştır. Hiyerarşi ağırlıklı olarak askerî düzen imgeleriyle kurulmuştur; öğrenciler bu düzeni işlevsel ve meşru bulur, baskı ve ezilme vurgulu metaforların payı ise düşük kalmıştır. Cinsiyet ayrımcılığında ise katılımcılar arasında belirgin bir algı farkı ortaya çıkmıştır. Kadın öğrenciler kavramı görünmez engel ve dışlanma metaforlarıyla süregelen bir deneyim olarak kurarken, erkek öğrenciler onu sönmekte olan bir olgu olarak anlamlandırmıştır. Yaratıcılık metaforları sanatsal üretim ideali ile örgütsel kısıtlar arasında bölünür. Sürdürülebilirlik doğal döngü ve tutumluluk çerçeveleriyle temsil edilmiş, bir bölüm katılımcıda yeşil aklama kuşkusu belirmiştir. Kavramlar arası okuma, kısıtlanmışlık ve söylem-eylem boşluğu şemalarının birden çok kavramda yinelendiğini gösterir. Bulgular, gastronomi eğitiminde hiyerarşinin eleştirel biçimde ele alınmasını gerektirmektedir. Staj öncesi hazırlık süreçlerine cinsiyet eşitliği farkındalığının eklenmesi, sürdürülebilirlik öğretiminin ise uygulamayla desteklenmesi önerilir.
Anahtar kelimeler: gastronomi eğitimi, metafor analizi, hiyerarşi, cinsiyet ayrımcılığı, yaratıcılık, sürdürülebilirlik

A METAPHORICAL ANALYSIS OF CHEF CANDIDATES' PERCEPTIONS OF HIERARCHY, GENDER DISCRIMINATION, CREATIVITY, AND SUSTAINABILITY IN PROFESSIONAL KITCHENS

ABSTRACT
This study examines gastronomy students' cognitive representations of hierarchy, gender discrimination, creativity, and sustainability in the professional kitchen through metaphor analysis. The study follows a basic qualitative design. Data come from a sentence-completion form administered online in April–May 2026 to undergraduate gastronomy and culinary arts students at several universities in Türkiye, all of whom had internship experience in

professional kitchens and were selected through criterion sampling. Screening yielded 617 valid metaphors from 161 participants, which were then subjected to content analysis. Themes were translated into conceptual metaphors, overlaps in source domains across the concepts were compared in a concept-by-source-domain table, and the distribution of themes by gender was compared descriptively. Hierarchy was most often rendered through military imagery and treated as a functional, legitimate order, while metaphors of pressure and oppression were rare. Gender discrimination produced a marked perception gap. Female students described it as an ongoing experience through metaphors of invisible barriers and exclusion; male students largely treated it as a phenomenon already fading. Metaphors for creativity split between an ideal of artistic production and the constraints of kitchen organisation, and sustainability was framed through natural cycles and thrift, alongside scepticism towards greenwashing. Read across the four concepts, schemas of constraint and of the discourse-practice gap recurred. For gastronomy curricula, the findings suggest that hierarchy should be addressed critically and that sustainability teaching requires practice-based support. Gender-equality awareness, on this evidence, belongs in pre-internship preparation.
Keywords: gastronomy education, metaphor analysis, hierarchy, gender discrimination, creativity, sustainability

1. GİRİŞ

Gastronomi, yiyecek ve içecek üretimiyle sınırlı olmayan; kültür, kimlik, estetik, tarih ve toplumsal değerlerle doğrudan ilişkili, disiplinler arası bir çalışma alanıdır (Bessière, 1998; Santich, 2004). Bu açıdan gastronomi, turizm ve ağırlama endüstrisi içinde ekonomik bir faaliyet olmanın ötesinde toplumların kültürel mirasının aktarılmasında ve yeniden üretilmesinde önemli bir rol üstlenmektedir (Richards, 2012); kültür ve turizm alanındaki ağırlığı da her geçen yıl artmaktadır. Gastronomi alanındaki bu çok boyutlu yapı, özellikle eğitim kurumlarının temel teknik beceri kazandıran bir yaklaşımın ötesine geçmesini; öğrencilerin mesleğe, profesyonel mutfak ortamına ve sektörel sorunlara ilişkin algı ve anlamlandırma biçimlerini de dikkate alan bir eğitim anlayışını zorunlu kılmaktadır (Ekincek vd., 2017; Öney, 2016). Dolayısıyla gastronomi eğitimi; toplumların yemek eğilimlerini, yiyecek-içecek işletmelerinin yönetim süreçlerini ve mutfak kültürünü bilen, uluslararası alanda rekabet edebilecek bilgi ve becerilerle donatılmış uzman personel ve yönetici şefler yetiştirmeyi amaçlamaktadır (Santich, 2004; Shenoy, 2005). Bu bağlamda gastronomi eğitimi, bireylerin mesleki bilgileri, mutfak kültürü, çalışma koşulları ve sektörel dinamiklere yönelik bilişsel farkındalıklarını şekillendiren kritik bir süreç olarak değerlendirilmektedir.

Türkiye'de gastronomi eğitimi veren yükseköğretim kurumları ve bu kurumlarda öğrenim gören öğrenci sayısı hızlı bir artış göstermektedir (Ekincek vd., 2017). Bu artışa paralel olarak, gastronomi öğrencilerinin mesleğe ve turizm sektörüne yönelik tutumlarını, beklentilerini ve kariyer algılarını inceleyen akademik çalışmaların da yoğunlaştığı dikkat çekmektedir (Kuşluvan & Kuşluvan, 2000; Richardson, 2008; Özdemir vd., 2019). Ancak söz konusu araştırmaların büyük ölçüde nicel ölçme araçlarıyla gerçekleştirildiği ve öğrencilerin profesyonel mutfak ortamına, çalışma koşullarına ve sektörel sorunlara ilişkin bilişsel anlamlandırma biçimlerini derinlemesine ortaya koymakta sınırlı kaldığı görülmektedir. Bu durum, öğrencilerin mesleki deneyimlere ve yapısal sorunlara yükledikleri anlamların nitel ve yorumlayıcı yaklaşımlarla incelenmesini gerekli kılmaktadır. Bireyler mesleklerine ve çalışma ortamlarına ilişkin algılarını doğrudan ve açık bir şekilde ifade etmekte zorlanabilmektedir; zihinsel imgeler ve dolaylı anlatımlar bu nedenle önem kazanmaktadır. Metaforlar, bireylerin soyut, karmaşık ya da deneyim odaklı olgularını güçlü bir şekilde aktaran araçlar olarak değerlendirilmektedir (Lakoff & Johnson, 1980; Lyddon vd., 2001; Kövecses, 2010; Uyan Dur,

2016). Metaforlar aynı zamanda bireylerin dünyayı algılama biçimlerini yapılandıran temel kavramsal şemaların yansımalarıdır. Eğitim ve meslek algıları üzerine yapılan araştırmalarda metafor analizinin kullanılması, katılımcıların bilinçli ya da örtük düşünce örüntülerini, tutumlarını ve değer yüklemelerini görünür kılma açısından önemli bir yöntemsel avantaj sağlamaktadır (Saban vd., 2006). Sonuç olarak metafor yaklaşımı, gastronomi öğrencilerinin profesyonel mutfak ortamına ve sektörel sorunlara ilişkin algılarını anlam odaklı biçimde inceleme olanağı sunmaktadır.

Turizm alanında eğitim alan öğrencilerin meslek algılarına odaklanan birçok araştırma (Altman & Brothers, 1995; Aymankuy & Aymankuy, 2013; Brymer & Pavesic, 1990; Duman vd., 2006; Kuşluvan & Kuşluvan, 2000; Richardson, 2008) genel olarak ilgili mesleği bir bütün olarak değerlendiren tutum ölçümlerine odaklanmaktadır. Gastronomi ve mutfak sanatları öğrencileri üzerine yapılan araştırmalar ise sınırlıdır. Bu araştırmaların bir bölümü nicel yöntemlerle kariyer istekliliği, meslek seçimi ve çalışma koşullarına ilişkin görüşlere odaklanmaktadır (Harbalıoğlu & Ünal, 2014; Kurnaz vd., 2014; Tekin & Çidem, 2015; Özdemir vd., 2019). Bir bölümü ise nitel yöntemlerle aşçılık mesleğine ilişkin zihinsel imgeleri genel temalar üzerinden değerlendirmektedir. Alyakut ve Küçükkömürler (2018), katılımcı öğrencilerin gastronomi mezunlarını "sanatçı" metaforuyla ilişkilendirdiğini ve üretilen metaforların çoğunun olumlu çağrışımlar taşıdığını tespit etmiştir. Üst Can ve Solmaz (2021) ise on altı tema altında topladıkları metaforlarda öğrencilerin aşçılık mesleğini yaratıcı, eğlenceli ve gelişime açık gördüğünü; buna karşın profesyonel mutfakları zorlu çalışma koşulları, düşük ücret, sınırlı terfi imkânı ve cinsiyet ayrımcılığı gibi olumsuz koşullarla ilişkilendirdiğini ortaya koymuştur.

Bu dört kavramın birlikte ele alınması, profesyonel mutfağın kendine özgü çalışma düzeninden kaynaklanmaktadır. Escoffier'nin askerî örgütlenmeden uyarladığı brigade sistemi, mutfaklarda katı bir komuta zincirini bugün de büyük ölçüde ayakta tutmakta; şeflerin mesleki kimliği bu hiyerarşik düzen içindeki sosyalleşme süreçleriyle kurulmaktadır (Cooper vd., 2017). Aynı düzenin eril kodlarla iç içe geçmesi, kadın şeflerin mesleğe girişte ve yükselmede görünmez engellerle karşılaşmasına yol açmaktadır (Harris & Giuffre, 2015; Haddaji vd., 2017). Yaratıcılık ise mutfağın en çok yüceltilen değeri olmasına karşın maliyet baskısı, standart reçeteler ve hiyerarşik onay süreçleri içinde ancak sınırlı bir alanda işleyebilmektedir (Ottenbacher & Harrington, 2007). Son yıllarda gastronomi eğitiminin gündemine giren sürdürülebilirlik de benzer bir gerilim taşımaktadır: kavram müfredatlara girmekle birlikte, sektör uygulamalarında söylem düzeyinde kalabildiği yönünde eleştiriler bulunmaktadır (Cappelen & Strandgaard Pedersen, 2024). Bu haliyle dört kavram; düzen, eşitlik, ifade ve gelecek boyutlarını bir arada temsil eden ve öğrencilerin staj deneyimleriyle doğrudan temas ettiği sorun alanları olarak bu araştırmanın çerçevesini oluşturmaktadır.

Alanyazın bir bütün olarak değerlendirildiğinde, turizm ve gastronomi öğrencilerinin mesleğe yönelik algılarının çoğunlukla mesleki imaj, kariyer niyeti ve sektör algısı çerçevesinde ele alındığı; hiyerarşi, cinsiyet ayrımcılığı, yaratıcılık ve sürdürülebilirlik gibi güncel ve sorun odaklı kavramların metaforik temsilinin ise incelenmediği görülmektedir. Profesyonel mutfakların hiyerarşik yapısının ve cinsiyet temelli ayrışmaların sürmesi, yoğun iş yükü ve örgütsel baskıların yaratıcılığı sınırlandırması, sürdürülebilirliğin ise gastronomi eğitiminde kritik bir boyut kazanmasına karşın öğrenci algılarında karşılık bulup bulmadığının bilinmemesi, bu araştırmanın gerekliliğini ortaya koymaktadır. Bu araştırmanın amacı, metafor analizi yoluyla gastronomi öğrencilerinin hiyerarşi, cinsiyet ayrımcılığı, yaratıcılık ve sürdürülebilirlik kavramlarına yönelik bilişsel temsillerini incelemektir.

2. YÖNTEM

2.1. Araştırmanın Deseni ve Araştırma Soruları

Bu araştırma, katılımcıların belirli olgulara yükledikleri anlamları ortaya çıkarmayı amaçlayan temel nitel araştırma deseninde (Merriam & Tisdell, 2016) tasarlanmış; çözümleme çerçevesi olarak metafor analizi benimsenmiştir. Araştırmada şu sorulara yanıt aranmıştır:

Gastronomi öğrencileri profesyonel mutfaklardaki hiyerarşi, cinsiyet ayrımcılığı, yaratıcılık ve sürdürülebilirlik kavramlarını hangi metaforlar ve kavramsal temalar aracılığıyla anlamlandırmaktadır?

Bu temaların dayandığı kaynak alanlar kavramlar arasında hangi noktalarda örtüşmektedir?

Üretilen metaforik temaların dağılımı kadın ve erkek öğrenciler arasında betimsel düzeyde nasıl farklılaşmaktadır?

2.2. Çalışma Grubu

Çalışma grubunun belirlenmesinde olasılığa dayalı olmayan örnekleme yöntemlerinden amaçlı örnekleme, bu kapsamda ise ölçüt örnekleme tekniği kullanılmıştır (Patton, 2015). Katılımcıların belirlenmesinde; (i) Gastronomi ve Mutfak Sanatları bölümünde aktif lisans öğrencisi olmaları, (ii) profesyonel yiyecek-içecek işletmelerinin mutfaklarında en az bir dönem zorunlu staj yapmış olmaları ve (iii) araştırmaya gönüllü katılım sağlamaları temel ölçüt olarak esas alınmıştır. Veriler 2025-2026 eğitim-öğretim yılının bahar döneminde (Nisan-Mayıs 2026) çevrimiçi bir anket formu kullanılarak toplanmış; form, Türkiye'deki çeşitli üniversitelerin ilgili bölümlerinde öğrenim gören öğrencilere e-posta ve mesajlaşma uygulamaları gibi dijital iletişim kanalları aracılığıyla ulaştırılmıştır. Bu süreçte toplam 188 öğrenciden dönüş alınmış; ayıklama işlemlerinin ardından (bk. 2.4) analizler 161 katılımcının verisi üzerinden yürütülmüştür. Araştırma için Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Girişimsel Olmayan Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'ndan 11.03.2026 tarihli, 2026/3 sayılı toplantıda alınan GO 2026/2673 sayılı kararla etik kurul onayı alınmıştır.

2.3. Veri Toplama Aracı

Araştırma verileri, katılımcıların belirli kavramlara ilişkin bilişsel temsillerini kısa fakat gerekçeli ifadelerle görünür kılmaya elverişli olan cümle tamamlama tekniği (CTT) ile toplanmıştır. Metafor araştırmalarında bu teknik, katılımcının benzetmeyi ve gerekçesini birlikte üretmesini sağlayan "... gibidir; çünkü ..." kalıbı üzerinden uygulanmaktadır (Saban, 2009). Kullanılan form iki bölümden oluşmaktadır. İlk bölümde cinsiyet, yaş, sınıf düzeyi ve sektörel deneyim süresine ilişkin sorular; ikinci bölümde profesyonel mutfak bağlamında hiyerarşi, cinsiyet ayrımcılığı, yaratıcılık ve sürdürülebilirlik kavramlarına yönelik dört cümle kökü yer almaktadır. Her katılımcıdan bu kavramların her biri için bir benzetme ile gerekçesini yazması istenmiştir. Cümle kökleri hazırlanırken metafor araştırmalarındaki yerleşik uygulamalardan yararlanılmıştır (Lakoff & Johnson, 1980; Saban, 2009). Hazırlanan cümle kökleri, kapsam ve anlaşılırlık bakımından üç alan uzmanının görüşüne sunularak değerlendirilmiştir.

2.4. Verilerin Analizi

Veriler, benzetme ve gerekçe bütünlüğü esas alınarak içerik analiziyle çözümlenmiştir. Analiz dört aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk aşamada veri seti ayıklanmıştır: metafor içermeyen, kavramı sadece yeniden tanımlayan ya da benzetmesiyle gerekçesi örtüşmeyen 10 form geçersiz sayılmıştır. Ardından yanıt metinleri üzerinde yürütülen sistematik benzerlik taramasında, dört kavramda birden yüksek düzeyde örtüşen ifadeler içeren 17 mükerrer kayıt tespit edilmiş ve bu kayıtlar da analiz dışı bırakılmıştır. Böylece analizler 161 katılımcının verisiyle sürdürülmüş; kavram bazında geçerli metafor sayıları hiyerarşi için 157, cinsiyet ayrımcılığı için 153, yaratıcılık için 153, sürdürülebilirlik için 154 olmuştur.

İkinci aşamada geçerli ifadeler araştırmacılar tarafından kodlanmış ve kaynak alan benzerliğine

göre kavramsal temalar altında toplanmıştır. Kodlama sürecinde her temanın kapsamı bir kod defterinde tanımlanmış; her tema, temsil edici verbatim alıntılarla desteklenmiştir. Üçüncü aşamada temalar, kaynak ve hedef alan ilişkisi temelinde altta yatan kavramsal metaforlara (HEDEF ALAN KAYNAK ALANDIR biçiminde) dönüştürülmüştür (Lakoff & Johnson, 1980). Son aşamada her kavram için belirlenen temalar ve metafor frekansları, kavramlar arası ortaklıkları görünür kılmak amacıyla tek bir kavram × kaynak alanı tablosunda birleştirilmiştir (Tablo 6). Bu tablo yeni bir istatistiksel çözümleme içermemekte, içerik analizi bulgularının kavramlar arası örüntüsünü özetlemektedir. Kadın ve erkek katılımcı sayıları birbirinden farklı olduğundan, temaların cinsiyete göre dağılımı ham frekansların yanı sıra grup içi yüzdelerle betimsel düzeyde raporlanmıştır.

3. BULGULAR

3.1. Tanımlayıcı Bilgiler

Araştırmaya katılan gastronomi öğrencilerinin demografik özelliklerine ilişkin frekans (f) ve yüzde (%) değerleri Tablo 1'de sunulmuştur. Katılımcıların %55,9'u (f = 90) kadın, %44,1'i (f = 71) erkektir. Yaş açısından en kalabalık grubu 21–23 yaş aralığı oluşturmaktadır (f = 67; %41,6). Bunu 18–20 yaş (f = 45; %28,0), 24–26 yaş (f = 29; %18,0) ile 27 yaş ve üzeri (f = 20; %12,4) izlemektedir; katılımcıların %87,6'sı 18–26 yaş aralığındadır. Sınıf düzeyinde en geniş grubu 3. sınıf öğrencileri oluşturmaktadır (f = 63; %39,1). Bunu 4. sınıf (f = 42; %26,1), 2. sınıf (f = 29; %18,0) ve 1. sınıf (f = 27; %16,8) takip etmektedir. Katılımcıların %65,2'sinin 3. ve 4. sınıfta olması, örneklemin staj ve sektör deneyimini büyük ölçüde tamamlamış öğrencilerden oluştuğunu göstermektedir. Sektörel deneyim süresi 1–3 ay (f = 49; %30,4), 7–12 ay (f = 41; %25,5), 4–6 ay (f = 38; %23,6) ve bir yıldan fazla (f = 33; %20,5) biçiminde dağılmaktadır.

Tablo 1. Araştırmaya katılanların demografik özelliklerine ilişkin frekans ve yüzde dağılımları

Değişken	f	%
Cinsiyet		
Kadın	90	55,9
Erkek	71	44,1
Yaş		
18–20	45	28,0
21–23	67	41,6
24–26	29	18,0
27 ve üzeri	20	12,4
Sınıf Düzeyi		
1. Sınıf	27	16,8
2. Sınıf	29	18,0
3. Sınıf	63	39,1
4. Sınıf	42	26,1
Sektörel Deneyim		
1–3 Ay	49	30,4
4–6 Ay	38	23,6
7–12 Ay	41	25,5
1 Yıldan Fazla	33	20,5
Toplam	**161**	**100,0**

3.2. Kavramlara İlişkin Metaforik Temalar ve Kavramsal Metaforlar

Hiyerarşi kavramına ilişkin 157 geçerli metafor dokuz tema altında toplanmıştır (Tablo 2). Bu metaforların %61,8'i, düzen ve otorite vurgusu taşıyan ilk üç temada yoğunlaşmaktadır. En sık üretilen tema askerî düzen ve disiplindir (%30,6). Bu temada katılımcılar profesyonel mutfağı dikey, kurallı ve sorgulanması güç bir yapı olarak tanımlamıştır. Bunu örgütsel ve yönetsel düzen (%20,4) ile doğal ve biyolojik düzen (%10,8) temaları izlemektedir. Geri kalan temalar (yönlendirme ve rehberlik, zorunluluk ve gereklilik, kademeli ve dikey yapı, baskı ve ezilme, mekanik düzen ile aile ve topluluk) görece düşük frekanslarda dağılmakta olup ayrıntılı dağılım Tablo 2'de sunulmuştur. Askerî düzen temasını örnekleyen bir ifadede mutfak, işlevsel bir komuta yapısı olarak betimlenmektedir: *"...Askeri sistem gibidir; çünkü profesyonel mutfaklar sectionlar ile ayrılmıştır ve bu sectionlara bağlı yöneticiler vardır bu sistem mutfaklara servis zamanında hız ve pratiklik sağlar"* (Erkek, 3. Sınıf). Örgütsel ve yönetsel düzen temasında ise hiyerarşi, net görev dağılımı yoluyla hatayı azaltan bir güvenlik düzeneği olarak kurulmaktadır: *"...bir ameliyathane ekibi gibidir; çünkü beş aydır sahadayım; cerrah keser, hemşire uzatır, kimse sırayı bozmaz; bu net görev dağılımı hatayı azaltıyor, baskı değil güvenlik"* (Erkek, 2. Sınıf).

İki tema birlikte değerlendirildiğinde öğrencilerin hiyerarşiyi büyük ölçüde işlevsel, işin doğası gereği gerekli bir düzen olarak gördüğü anlaşılmaktadır. Baskı ve ezilmeyi öne çıkaran olumsuz metaforların payı ise düşüktür (%5,1). Bu örüntü, mutfağın hiyerarşik yapısının katılımcılar tarafından mesleğin doğal bir parçası olarak benimsendiğine işaret etmektedir. Cinsiyete göre bakıldığında askerî düzen metaforları kadın öğrencilerde (kadınların %37,2'si; erkeklerin %22,5'i), örgütsel ve yönetsel düzen metaforları ise erkek öğrencilerde (%31,0'a karşılık %11,6) daha sık görülmektedir. Bu farklar betimsel düzeyde bir eğilimi yansıtmaktadır.

Tablo 2. Hiyerarşi kavramına ilişkin metaforik temalar, kavramsal metaforlar ve cinsiyete göre dağılım

Kavramsal Tema	Kavramsal Metafor	f	%	Kadın f (%)	Erkek f (%)
Askeri düzen ve disiplin	Hiyerarşi bir askerî düzendir	48	30,6	32 (37,2)	16 (22,5)
Örgütsel ve yönetsel düzen	Hiyerarşi kurumsal bir organizasyondur	32	20,4	10 (11,6)	22 (31,0)
Doğal ve biyolojik düzen	Hiyerarşi doğal bir düzendir	17	10,8	12 (14,0)	5 (7,0)
Yönlendirme ve rehberlik	Hiyerarşi yön veren bir rehberliktir	15	9,6	8 (9,3)	7 (9,9)
Zorunluluk ve gereklilik	Hiyerarşi kaçınılmaz bir gerekliliktir	15	9,6	9 (10,5)	6 (8,5)
Kademeli ve dikey yapı	Hiyerarşi dikey bir yapıdır	12	7,6	7 (8,1)	5 (7,0)
Baskı ve ezilme	Hiyerarşi bir baskı düzeneğidir	8	5,1	4 (4,7)	4 (5,6)
Mekanik düzen (mekanizma)	Hiyerarşi bir mekanizmadır	7	4,5	2 (2,3)	5 (7,0)
Aile ve topluluk	Hiyerarşi bir ailedir	3	1,9	2 (2,3)	1 (1,4)
Toplam		**157**	**100,0**	**86**	**71**

Cinsiyet ayrımcılığı kavramına ilişkin 153 geçerli metafor on tema altında toplanmıştır (Tablo 3). En sık görülen tema, ayrımcılığı ahlaki bir kötülük ya da hastalık olarak tanımlayan metaforlardır (%25,5). Bunu kavramı sönmekte olan bir olgu olarak temsil eden (%17,6) ve görünmez bir engel olarak kuran (%16,3) metaforlar izlemektedir. Geri kalan temalar dışlanma ve görünmezlik (%11,1), doğal/meşru iş bölümü (%9,2), eşit olmayan koşullar ve haksızlık (%8,5) ile daha düşük frekanslı diğer örüntülere dağılmakta olup ayrıntılı dağılım Tablo 3'te sunulmuştur.

İlk temada ayrımcılık, bulaşan ve kalıcı iz bırakan bir hastalık ya da ahlaki bir kusur olarak

kavramsallaştırılmaktadır (f = 39). Bu temsil iki öğrencinin sözlerinde şu şekilde ifade edilmektedir: *"...Mikrop gibidir; çünkü bir kere yayıldığında tamamen geçmez"* (Kadın, 2. Sınıf); *"...Toplumsal bir hastalık gibidir; çünkü cahilliğin ana göstergesidir"* (Erkek, 3. Sınıf). İkinci temada ayrımcılık sönmekte olan bir olgu olarak betimlenmekte; katılımcılar sorunun kuşaksal bir dönüşümle ortadan kalkmakta olduğunu ileri sürmektedir (f = 27): *"...yeni kapanan eski bir parantez gibidir; çünkü bence o dönem bitiyor; benim arkadaş grubumda kız erkek aynı ocağın başında eşit ter döküyor, parantez kapandı"* (Erkek, 1. Sınıf). Üçüncü temada ise ayrımcılık görünmez bir engel olarak tanımlanmakta ve biçimsel eşitliğe karşın erişimdeki örtük eşitsizliğe vurgu yapılmaktadır (f = 25): *"...görünmez bir tavana sürülmüş yağ gibidir; çünkü yukarı çıkmaya çalışınca elin kayar; engeli göremezsin ama her tutunduğunda neden yükselemediğini hissedersin"* (Kadın, 4. Sınıf).

Temaların cinsiyete göre dağılımı, araştırmanın cinsiyet temelli en belirgin örüntüsünü ortaya koymaktadır. Kadın öğrenciler, her iki cinsiyette de yaygın olan ahlaki kötülük temasının yanı sıra ayrımcılığı görünmez bir engel (kadınların %20,2'si; erkeklerin %11,6'sı), eşit olmayan koşullar ve haksızlık (%13,1'e karşılık %2,9) ile dışlanma ve görünmezlik (%13,1'e karşılık %8,7) çerçevesinde tanımlamaktadır. Erkek öğrenciler ise kavramı en sık sönmekte olan bir olgu olarak ifade etmektedir (erkeklerin %31,9'u; kadınların %6,0'ı); ayrımcılığı tümüyle yadsıyan ya da duruma bağlı sayan temsiller sadece erkek katılımcılarda görülmüştür. Bu dağılım, kadın öğrencilerin ayrımcılığı yapısal ve süregelen bir eşitsizlik olarak deneyimlediğine, erkek öğrencilerin ise onu büyük ölçüde geçmişte kalmış bir olgu olarak konumlandırma eğiliminde olduğuna işaret etmektedir.

Tablo 3. Cinsiyet ayrımcılığı kavramına ilişkin metaforik temalar, kavramsal metaforlar ve cinsiyete göre dağılım

Kavramsal Tema	Kavramsal Metafor	f	%	Kadın f (%)	Erkek f (%)
Ahlaki kötülük olarak ayrımcılık	Ayrımcılık ahlakî bir kötülük/hastalıktır	39	25,5	26 (31,0)	13 (18,8)
Azalan ve sönmekte olan olgu	Ayrımcılık sönmekte olan bir olgudur	27	17,6	5 (6,0)	22 (31,9)
Görünmez engel ve sınır	Ayrımcılık görünmez bir engeldir	25	16,3	17 (20,2)	8 (11,6)
Dışlanma ve görünmezlik	Ayrımcılık dışlanma ve görünmezliktir	17	11,1	11 (13,1)	6 (8,7)
Doğal ve meşru iş bölümü	Ayrımcılık doğal bir iş bölümüdür	14	9,2	8 (9,5)	6 (8,7)
Eşit olmayan koşullar ve haksızlık	Ayrımcılık adil olmayan bir yarıştır	13	8,5	11 (13,1)	2 (2,9)
Örtük ve söylenmeyen	Ayrımcılık örtük bir kuraldır	7	4,6	5 (6,0)	2 (2,9)
Yokluk ve yadsıma	Ayrımcılık yoktur (yadsıma)	5	3,3	0 (0,0)	5 (7,2)
Kökleşmiş alışkanlık ve gelenek	Ayrımcılık kökleşmiş bir alışkanlıktır	3	2,0	1 (1,2)	2 (2,9)
Duruma ve kişiye bağlı	Ayrımcılık değişken bir durumdur	3	2,0	0 (0,0)	3 (4,3)
Toplam		**153**	**100,0**	**84**	**69**

Yaratıcılık kavramına ilişkin 153 geçerli metafor dokuz tema altında toplanmıştır (Tablo 4). En sık üretilen tema sanatsal ifadedir (%26,1); katılımcılar mutfaktaki yaratıcılığı resim, müzik ve heykel gibi sanat biçimlerine benzetmektedir. İkinci sırada gelen sınırlandırılmış yaratıcılık teması (%17,6) ise farklı bir algıyı yansıtmakta; kalıp, kurallı oyun ve çitli bahçe gibi metaforlar yaratıcılığın örgütsel kısıtlar içinde sıkıştığını ifade etmektedir. Bunları sınırsız özgürlük (%12,4), soyut hayal ve sihir (%12,4), deneme-yanılma ve keşif (%9,8) ile daha düşük frekanslı diğer temalar izlemekte olup ayrıntılı dağılım Tablo 4'te sunulmuştur.

En yüksek frekansa ulaşan iki örüntü, yaratıcılığı karşıt iki düzlemde konumlandırmaktadır. İlk

örüntüde yaratıcılık sanatsal bir üretim olarak kavramsallaştırılmakta (f = 40) ve bu temsil bir öğrencinin ifadesinde somutlaşmaktadır: *"...bir seramik sırı gibidir; çünkü fırına koyana kadar nasıl çıkacağını tam bilemezsin; o küçük kimyasal sürpriz, kontrollü bir kazadan doğan güzelliktir"* (Erkek, 2. Sınıf). İkinci örüntüde ise yaratıcılık tutsak edilmiş bir güç olarak betimlenmekte; kalıbın dayattığı sınırlar içinde bile kişisel bir ifadenin mümkün olduğu vurgulanmaktadır (f = 27): *"...bir sabun dökme kalıbı gibidir; çünkü kalıp bellidir ama kokuyu, rengi, içine katacağın kuru çiçeği sen seçersin; dar bir alanda bile kişisel bir eser çıkar"* (Kadın, 2. Sınıf).

Sınırlandırılmış yaratıcılık (kadınların %23,3'ü; erkeklerin %10,4'ü) ile göstermelik ve uygulanmayan yaratıcılık (%9,3'e karşılık %3,0) temaları kadın öğrencilerde; yaratıcılığı şekillendirilebilir bir hammadde (%11,9'a karşılık %3,5) ya da deneme-yanılma süreci (%13,4'e karşılık %7,0) olarak kuran metaforlar ise erkek öğrencilerde daha sık görülmektedir. Betimsel düzeydeki bu eğilim, yaratıcılığın takdir edilmesine karşın uygulamada kısıtlandığı yönündeki temsillerin daha çok kadın öğrencilerin anlatılarında yer bulduğunu göstermektedir.

Tablo 4. Yaratıcılık kavramına ilişkin metaforik temalar, kavramsal metaforlar ve cinsiyete göre dağılım

Kavramsal Tema	Kavramsal Metafor	f	%	Kadın f (%)	Erkek f (%)
Sanatsal ifade	Yaratıcılık sanatsal bir üretimdir	40	26,1	19 (22,1)	21 (31,3)
Sınırlandırılmış yaratıcılık	Yaratıcılık tutsak edilmiş bir güçtür	27	17,6	20 (23,3)	7 (10,4)
Sınırsız özgürlük	Yaratıcılık sınırsız bir özgürlüktür	19	12,4	11 (12,8)	8 (11,9)
Soyut hayal ve sihir	Yaratıcılık bir hayal ve sihirdir	19	12,4	12 (14,0)	7 (10,4)
Deneme-yanılma ve keşif	Yaratıcılık bir deney ve keşiftir	15	9,8	6 (7,0)	9 (13,4)
Şekillendirilebilir hammadde	Yaratıcılık biçimlendirilebilir bir hammaddedir	11	7,2	3 (3,5)	8 (11,9)
Göstermelik ve uygulanmayan	Yaratıcılık vitrinlik bir süstür	10	6,5	8 (9,3)	2 (3,0)
Yaşamsal ve vazgeçilmez öğe	Yaratıcılık yaşamsal bir öğedir	8	5,2	5 (5,8)	3 (4,5)
Kişisel imza ve özgünlük	Yaratıcılık kişisel bir imzadır	4	2,6	2 (2,3)	2 (3,0)
Toplam		**153**	**100,0**	**86**	**67**

Sürdürülebilirlik kavramına ilişkin 154 geçerli metafor yedi tema altında toplanmıştır (Tablo 5). Kavram en sık doğal döngü ve ekosistem üzerinden temsil edilmiştir (%29,9). İkinci sırada israftan kaçınma ve tutumluluk (%16,2), üçüncü sırada ise göstermelik çevrecilik (yeşil aklama) teması (%15,6) yer almaktadır. Yeşil aklama teması eleştirel bir bakışı yansıtmakta; fotoğraf için kurulan çevreci köşe ya da sosyal medya paylaşımı gibi metaforlar, sürdürülebilirliğin sektörde söylemden ibaret kaldığı yönündeki kuşkuyu dile getirmektedir. Bunları geleceğe yatırım ve emanet (%11,7), yaşamsal zorunluluk (%11,7) ile daha düşük frekanslı diğer temalar izlemekte olup ayrıntılı dağılım Tablo 5'te sunulmuştur.

En sık üretilen temada sürdürülebilirlik doğal bir döngü olarak kavramsallaştırılmakta; mevsimsel ritme uyum, doğaya karşı durmak yerine onunla iş birliği olarak betimlenmektedir (f = 46): *"...İyi Bir Bahçıvanın Bahçesine [benzer]; çünkü Domatesi kışın kullanmak için zorlamaz; mevsimin getirdiği ürünü en iyi şekilde değerlendirmeyi bir sanat haline getirir. Doğaya karşı savaşmak yerine, onun sunduğu döngüyle birlikte hareket eder."* (Kadın, 3. Sınıf). Yeşil aklama temasında ise kavram göstermelik bir sahne olarak kurulmakta; sürdürülebilirlik söyleminin bir pazarlama aracına indirgendiği ileri sürülmektedir (f = 24): *"...Yalan [gibidir]; çünkü Temelde güzel ve yararlı bir sistem gibi görünse de artık bir pazarlama taktiği ve michelin rehberi için bir basamak olarak görünmektedir"* (Erkek, 4.

Sınıf).
Cinsiyete göre dağılımda yeşil aklamaya ilişkin kuşkucu metaforlar kadın öğrencilerde (kadınların %22,1'i; erkeklerin %7,4'ü), sürdürülebilirliği uygulamalı bir tutumluluk alışkanlığı olarak kuran metaforlar ise erkek öğrencilerde (%25,0'a karşılık %9,3) daha sık görülmektedir. Bu fark da betimsel bir eğilim olarak okunmalıdır.

Tablo 5. Sürdürülebilirlik kavramına ilişkin metaforik temalar, kavramsal metaforlar ve cinsiyete göre dağılım

Kavramsal Tema	Kavramsal Metafor	f	%	Kadın f (%)	Erkek f (%)
Doğal döngü ve ekosistem	Sürdürülebilirlik doğal bir döngüdür	46	29,9	25 (29,1)	21 (30,9)
İsraftan kaçınma ve tutumluluk	Sürdürülebilirlik tutumlu bir ev ekonomisidir	25	16,2	8 (9,3)	17 (25,0)
Göstermelik çevrecilik (yeşil aklama)	Sürdürülebilirlik göstermelik bir sahnedir	24	15,6	19 (22,1)	5 (7,4)
Geleceğe yatırım ve emanet	Sürdürülebilirlik geleceğe bir emanettir	18	11,7	10 (11,6)	8 (11,8)
Yaşamsal zorunluluk	Sürdürülebilirlik yaşamsal bir zorunluluktur	18	11,7	11 (12,8)	7 (10,3)
Denge, doğruluk ve erdem	Sürdürülebilirlik ahlakî bir erdemdir	15	9,7	9 (10,5)	6 (8,8)
Yeni gelişen bilinç ve yavaş süreç	Sürdürülebilirlik yeni filizlenen bir bilinçtir	8	5,2	4 (4,7)	4 (5,9)
Toplam		**154**	**100,0**	**86**	**68**

3.3. Kaynak Alanların Kavramlar Arası Örtüşmesi

Dört kavrama ait kaynak alanları, ortaklık ve özgüllük açısından Tablo 6'da karşılaştırmalı olarak sunulmuştur. Tablonun ilk bölümü birden çok kavramda ortaklaşan köprü kaynak alanlarını, ikinci bölümü ise sadece tek bir kavramda görülen kaynak alanlarını göstermekte; her hücrede ilgili temanın adı ve frekansı yer almaktadır. Tabloya giren 470 metaforun 263'ü ortak, 207'si kavrama özgü kaynak alanlarında toplanmaktadır. Bu dağılım, belirli deneyimsel şemaların kavramlar arasında dolaştığını ve öğrencilerin farklı kavramları anlamlandırırken ortak bir imge dağarcığına başvurduğunu göstermektedir.
Paylaşılan kaynak alanları arasında en yaygın olanı doğa/ekosistem şemasıdır. Bu şema hiyerarşide doğal ve biyolojik düzen (f = 17), yaratıcılıkta açık gökyüzü ve deniz imgeleriyle kurulan sınırsız özgürlük (f = 19), sürdürülebilirlikte ise doğal döngü (f = 46) temaları aracılığıyla üç kavramı birden beslemektedir. Yaşamsallık şeması da aynı üç kavramı "olmazsa olmaz" niteliğiyle birbirine bağlamaktadır (sırasıyla f = 15, f = 8, f = 18). Eleştirel şemaların örtüşmesi ise daha dikkat çekicidir: kafes/engel şeması yaratıcılık (f = 27) ile cinsiyet ayrımcılığını (f = 25) ortak bir sınırlandırılmışlık deneyiminde, sahne/vitrin şeması ise yaratıcılık (f = 10) ile sürdürülebilirliği (f = 24) "sergilenen ama içi boş" bir temsilde buluşturmaktadır. Ahlak/değer şeması da cinsiyet ayrımcılığı (f = 39) ile sürdürülebilirliği (f = 15) normatif bir çerçevede birleştirmektedir. Kavramların baskın kaynak alanlarında iki farklı örüntü belirmektedir. Hiyerarşide (askerî düzen, f = 48; örgütsel düzen, f = 32) ve yaratıcılıkta (sanatsal üretim, f = 40) en yüksek frekanslı alanlar kavrama özgüdür. Cinsiyet ayrımcılığında (ahlak/değer, f = 39) ve sürdürülebilirlikte (doğa/ekosistem, f = 46) ise en yüksek frekanslı alanlar ortak şemalardır. Bütün olarak değerlendirildiğinde tablo, kısıtlanmışlık ve söylem-eylem boşluğu temalarının tek bir kavramla sınırlı kalmadığını, kavramlar arasında yinelenen bağlayıcı şemalara dönüştüğünü göstermektedir.

Tablo 6. Kaynak alanların kavramlar arası dağılımı

Kaynak alan	Hiyerarşi	Cinsiyet ayrımcılığı	Yaratıcılık	Sürdürülebilirlik	Kavram sayısı
Ortak (köprü) kaynak alanlar					
Doğa / ekosistem	Doğal ve biyolojik düzen (17)	–	Sınırsız özgürlük (19)	Doğal döngü ve ekosistem (46)	3
Yaşamsallık	Zorunluluk ve gereklilik (15)	–	Yaşamsal ve vazgeçilmez öğe (8)	Yaşamsal zorunluluk (18)	3
Kafes / engel	–	Görünmez engel ve sınır (25)	Sınırlandırılmış yaratıcılık (27)	–	2
Sahne / vitrin	–	–	Göstermelik ve uygulanmayan (10)	Göstermelik çevrecilik (yeşil aklama) (24)	2
Ahlak / değer	–	Ahlaki kötülük olarak ayrımcılık (39)	–	Denge, doğruluk ve erdem (15)	2
Kavrama özgü kaynak alanlar					
Askerî düzen	Askerî düzen ve disiplin (48)	–	–	–	1
Örgütsel düzen	Örgütsel ve yönetsel düzen (32)	–	–	–	1
Sönmekte olan olgu	–	Azalan ve sönmekte olan olgu (27)	–	–	1
Dışlanma / görünmezlik	–	Dışlanma ve görünmezlik (17)	–	–	1
Sanatsal üretim	–	–	Sanatsal ifade (40)	–	1
Tutumluluk	–	–	–	İsraftan kaçınma ve tutumluluk (25)	1
Geleceğe emanet	–	–	–	Geleceğe yatırım ve emanet (18)	1
Tabloya giren metafor	**112/157 (%71,3)**	**108/153 (%70,6)**	**104/153 (%68,0)**	**146/154 (%94,8)**	

Not. Tablo, dört kavramdaki 35 temadan kaynak alanı ortak ya da baskın olan 19'unu içermektedir. "–" işareti, ilgili kaynak alanın o kavramda tema olarak ortaya çıkmadığını gösterir. Parantez içindeki değerler frekanstır (f); son satır, tabloya giren metafor sayısını ve kavramın toplam geçerli metaforu içindeki payını vermektedir.

4. TARTIŞMA

Bu araştırma, gastronomi öğrencilerinin profesyonel mutfaklardaki hiyerarşi, cinsiyet ayrımcılığı, yaratıcılık ve sürdürülebilirlik kavramlarına ilişkin bilişsel temsillerini metaforlar üzerinden incelemiştir. Bulguların bütününe bakıldığında iki ana örüntü öne çıkmaktadır. Birincisi, öğrencilerin hiyerarşiyi büyük ölçüde meşru ve işlevsel bir düzen olarak içselleştirmiş olmasıdır. İkincisi, kısıtlanmışlık (kafes/engel) ve söylem-eylem boşluğu (sahne/vitrin) şemalarının birden fazla kavramda yinelenmesidir; bu şemalar, öğrencilerin mesleki biliş haritasında kavramları birbirine bağlayan ortak deneyim alanları olarak işlemektedir.

Askerî düzen metaforlarının hiyerarşi algısındaki baskınlığı, mutfağın Escoffier'den bu yana taşıdığı komuta mirasının öğrenci algısında hâlâ güçlü bir karşılık bulduğunu göstermektedir.

Cooper vd. (2017), Michelin yıldızlı şeflerle yürüttükleri derinlemesine görüşmelerde şeflerin hiyerarşik disiplini mesleki kimliğin kurucu bir parçası olarak benimsediğini ortaya koymuştur; bu araştırmadaki öğrencilerin hiyerarşiyi gereklilik ve güvenlik çerçevesinde anlamlandırması, söz konusu kimlik inşasının henüz staj aşamasında başladığına işaret etmektedir. Giousmpasoglou vd. (2018) ise Michelin yıldızlı mutfaklardaki mesleki sosyalleşme sürecinin sert disiplin uygulamalarını olağanlaştırdığını göstermiştir. Bu açıdan baskı ve ezilme temasının düşük payı (%5,1) iki biçimde okunabilir: öğrenciler bu tür uygulamalarla ya henüz sınırlı ölçüde karşılaşmıştır ya da bunları mesleğin doğal bir maliyeti olarak kabullenmeye başlamıştır. Her iki olasılık da gastronomi eğitiminde hiyerarşinin sadece teknik bir işleyiş olarak değil, eleştirel bir gözle de ele alınması gerektiğini düşündürmektedir.

Araştırmanın cinsiyet temelli en keskin bulgusu, ayrımcılık algısındaki ayrışmadır. Kadın öğrenciler ayrımcılığı görünmez engel, haksız yarış ve dışlanma metaforlarıyla süregelen bir deneyim olarak kurarken, erkek öğrenciler kavramı ağırlıklı olarak kapanmış ya da kapanmakta olan bir mesele biçiminde temsil etmiştir. Harris ve Giuffre (2015), kadın şeflerle yaptıkları görüşmelere ve geniş bir restoran eleştirisi taramasına dayanan çalışmalarında, profesyonel mutfağın şef imgesini eril kodlarla kurduğunu ve kadınların işe alımdan yükselmeye uzanan süreçlerde bu imgeyle uyumsuz görüldüğünü ortaya koymuştur. Haddaji vd. (2017) de kadın şeflerin Michelin yıldızına erişimini inceledikleri vaka çalışmasında, erillik ile kadınların becerilerine ilişkin cinsiyetçi algıları başlıca engeller arasında saptamıştır. Bu araştırmada kadın öğrencilerin ürettiği görünmez tavan ve engel metaforları, benzer engellerin Türkiye bağlamında staj aşamasındaki adaylar tarafından bile deneyimlendiğini göstermektedir. Erkek öğrencilerin ayrımcılığı büyük ölçüde geçmişte kalmış sayması ise, Albors-Garrigós vd.'nin (2020) akademik alanyazın ve medya içeriklerine ilişkin sistematik analizlerinde belgeledikleri süregelen eşitsizlik tablosuyla örtüşmeyen bir algı açığına işaret etmektedir. Üst Can ve Solmaz'ın (2021) aşçılık öğrencilerinin mutfağı cinsiyet ayrımcılığıyla ilişkilendirdiği yönündeki bulgusu bu araştırmada doğrulanmakla kalmamış; bu ilişkilendirmenin kimin tarafından, hangi çerçevede yapıldığı da ayrıştırılmıştır.

Yaratıcılık bulguları, sanatsal ideal ile sınırlandırılmış pratik arasındaki ikiliği ortaya koymaktadır. Öğrencilerin bir bölümü yaratıcılığı sanatsal bir üretim olarak yüceltirken, ikinci büyük grup onu kalıp ve kurallı oyun metaforlarıyla örgütsel kısıtlar içine yerleştirmiştir. Ottenbacher ve Harrington (2007), Michelin yıldızlı şeflerin yenilik geliştirme sürecini inceledikleri araştırmada, yeni ürün fikirlerinin maliyet ve uygulanabilirlik süzgeçlerinden geçirildiğini ve sürecin sanıldığından daha yapılandırılmış işlediğini ortaya koymuştur. Mesleğin zirvesinde bile yaratıcılığın örgütsel süzgeçlere tabi olması, öğrencilerin sınırlandırılmışlık algısının sektörel gerçekliği erken bir aşamada yansıttığını düşündürmektedir. Kadın öğrencilerin sınırlandırılmış ve göstermelik yaratıcılık temsillerine daha sık başvurması ise yaratıcılık alanındaki fırsat dağılımıyla ilişkili olabilir; ancak bu yorum betimsel verilere dayandığından ihtiyatla değerlendirilmelidir.

Sürdürülebilirlikte tablo iki katmanlıdır. Kavram en sık doğal döngü ve tutumluluk gibi olumlu, uygulamalı çerçevelerle temsil edilmiş; bu durum kavramın öğrenciler tarafından büyük ölçüde sahiplenildiğini göstermiştir. Cappelen ve Strandgaard Pedersen'in (2024) mutfak hareketleri ile yükseköğretim kurumları arasındaki iş birliklerini inceledikleri çalışmalarında gösterdiği üzere, sürdürülebilirlik gastronomi eğitiminin gündemine giderek daha güçlü biçimde taşınmaktadır ve bu sahiplenme söz konusu gündemin karşılık bulduğunu düşündürmektedir. Buna karşılık yaklaşık her altı öğrenciden birinin sürdürülebilirliği göstermelik bir sahne olarak kurması dikkat çekicidir. Font vd. (2017), turizm işletmelerinin sürdürülebilirlik uygulamaları ile bu uygulamalara ilişkin iletişimleri arasında önemli tutarsızlıklar bulunduğunu ortaya koymuştur; öğrencilerin yeşil aklama kuşkusu, uygulama ile söylem arasındaki bu tür

tutarsızlıkların sektörün geleceğin profesyonelleri tarafından da algılandığını göstermektedir. Staj deneyimi edinmiş öğrencilerin bu kuşkuyu taşıması, sürdürülebilirlik eğitiminin sınıf içeriğiyle sınırlı kalmayıp staj işletmelerindeki uygulamalarla desteklenmesi gerektiğine işaret etmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu araştırma, gastronomi öğrencilerinin hiyerarşi, cinsiyet ayrımcılığı, yaratıcılık ve sürdürülebilirlik kavramlarına ilişkin metaforik temsillerini tek bir desende inceleyen ilk çalışmalardan biridir. Bulgular üç noktada katkı sunmaktadır. Birincisi, meslek algısını bütüncül tutum ölçümlerinin ötesine taşıyarak dört sorun odaklı kavramın bilişsel temsillerini ayrıştırmıştır. İkincisi, kavramlar arası kaynak alanı örtüşmelerini görünür kılan matris yaklaşımı, metafor araştırmalarında tek kavramla sınırlı çözümlemelerin ötesine geçen bir okuma sunmuştur. Üçüncüsü, ayrımcılık algısında kadın ve erkek öğrenciler arasında belirgin bir açı bulunduğunu ortaya koymuştur: aynı mutfaklarda staj yapan iki grup, aynı olguyu biri süregelen bir engel, diğeri kapanmış bir parantez olarak anlamlandırmaktadır.

Bulgular gastronomi eğitimi açısından birkaç somut adım önermektedir. Hiyerarşi, müfredatta sadece mutfak organizasyonunun teknik bir gereği olarak değil; sağlıklı iletişim, geri bildirim ve liderlik boyutlarıyla birlikte ele alınmalıdır. Toplumsal cinsiyet eşitliği, staj öncesi oryantasyon süreçlerine hem kadın hem erkek öğrencileri kapsayacak biçimde eklenmelidir; zira algı açığı bulgusu, sorunun sadece mağdurlarına anlatılmasının yeterli olmadığını göstermektedir. Staj protokolü imzalanan işletmelerin sürdürülebilirlik uygulamalarının gerçekliği, iş birliği ölçütleri arasına alınabilir. Yaratıcılığa alan tanıyan staj görevlendirmeleri ise öğrencilerin sanatsal ideallerinin erken bir hayal kırıklığına dönüşmesini önleyebilir.

Araştırmanın sınırlılıkları da açıkça belirtilmelidir. Veriler tek ülkede, çevrimiçi bir formla ve kesitsel olarak toplanmıştır; cümle tamamlama tekniğinin ürettiği kısa gerekçeler, derinlemesine görüşmelerin sunduğu bağlamsal zenginliği taşımamaktadır. Kodlama sürecinde bağımsız bir ikinci kodlayıcı ya da dış uzman teyidi yapılmamış, kodlayıcılar arası uyum hesaplanmamıştır; temaların oluşturulmasında araştırmacı yorumunun belirleyici olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Bu sınırlılık, kod defteri tutulması ve her temanın temsil edici doğrudan alıntılarla desteklenmesi yoluyla kısmen dengelenmeye çalışılmıştır. Veri ayıklama sürecinde sistematik benzerlik taramasıyla 17 mükerrer kayıt tespit edilerek çıkarılmıştır; bu durum, çevrimiçi veri toplamanın yinelenen gönderim riskine karşı benzerlik denetimlerinin önemini göstermektedir. Cinsiyete göre karşılaştırmalar betimsel düzeyde tutulmuş, istatistiksel çıkarım amaçlanmamıştır. Gelecek araştırmalar, staj öncesi ve sonrası metafor üretimini karşılaştıran boylamsal desenlerle algının hangi deneyimlerle dönüştüğünü izleyebilir; görüşme temelli desenlerle bu araştırmada beliren algı açığının kaynaklarını derinlemesine inceleyebilir ve metaforik temsiller ile kariyer niyeti arasındaki ilişkiyi sorgulayabilir.

KAYNAKÇA

Albors-Garrigós, J., Haddaji, M., & García-Segovia, P. (2020). Gender discrimination in haute cuisine: A systematic literature and media analysis. *International Journal of Hospitality Management, 89*, 102569. https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2020.102569

Altman, A., & Brothers, L. (1995). Career decisions of hospitality students. *International Journal of Hospitality Management, 14*(2), 173–181.

Alyakut, Ö., & Küçükkömürler, S. (2018). Gastronomi eğitimi alan üniversite öğrencilerinin mesleklerine yönelik metafor algılarının değerlendirilmesi. *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi, 9*(16), 825–833.

Aymankuy, Y., & Aymankuy, Ş. (2013). Turizm öğrencilerinin meslek algıları. *Turizm*

Araştırmaları Dergisi, 24(1), 35–50.
Bessière, J. (1998). Local development and heritage: Traditional food and cuisine as tourist attractions in rural areas. *Sociologia Ruralis, 38*(1), 21–34.
Brymer, R., & Pavesic, D. (1990). Career planning for hospitality students. *Cornell Hotel and Restaurant Administration Quarterly, 31*(2), 24–30.
Cappelen, S. M., & Strandgaard Pedersen, J. (2024). Culinary movements and higher education collaborating for sustainable development. *Industry and Higher Education, 38*(1), 27–39. https://doi.org/10.1177/09504222231194631
Cooper, J., Giousmpasoglou, C., & Marinakou, E. (2017). Occupational identity and culture: The case of Michelin-starred chefs. *International Journal of Contemporary Hospitality Management, 29*(5), 1362–1379.
Duman, T., Tepeci, M., & Unur, K. (2006). Students' perceptions of tourism careers. *Journal of Hospitality, Leisure, Sport & Tourism Education, 5*(1), 25–38.
Ekincek, S., Göde, M. O., Öncel, S., & Yolal, M. (2017). Gastronomy and culinary arts education in Turkey: Department heads' perspectives. *Studia Universitatis Babeş-Bolyai Negotia, 62*(1), 23–43.
Font, X., Elgammal, I., & Lamond, I. (2017). Greenhushing: The deliberate under communicating of sustainability practices by tourism businesses. *Journal of Sustainable Tourism, 25*(7), 1007–1023. https://doi.org/10.1080/09669582.2016.1158829
Giousmpasoglou, C., Marinakou, E., & Cooper, J. (2018). 'Banter, bollockings and beatings': The occupational socialisation process in Michelin-starred kitchen brigades in Great Britain and Ireland. *International Journal of Contemporary Hospitality Management, 30*(3), 1882–1902.
Haddaji, M., Albors-Garrigós, J., & García-Segovia, P. (2017). Women chefs' access barriers to Michelin stars: A case-study based approach. *Journal of Culinary Science & Technology, 15*(4), 320–338. https://doi.org/10.1080/15428052.2017.1289133
Harbalıoğlu, M., & Ünal, A. (2014). Gastronomi öğrencilerinin meslek algıları. *Journal of Tourism and Gastronomy Studies, 2*(1), 15–28.
Harris, D. A., & Giuffre, P. (2015). *Taking the heat: Women chefs and gender inequality in the professional kitchen*. Rutgers University Press.
Kövecses, Z. (2010). *Metaphor: A practical introduction* (2nd ed.). Oxford University Press.
Kurnaz, A., Akyurt Kurnaz, H., & Kılıç, B. (2014). Önlisans düzeyinde eğitim alan aşçılık programı öğrencilerinin mesleki tutumlarının belirlenmesi. *Muğla Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi,* (32), 41–61.
Kuşluvan, S., & Kuşluvan, Z. (2000). Perceptions and attitudes of undergraduate tourism students towards working in the tourism industry in Turkey. *Tourism Management, 21*(3), 251–269. https://doi.org/10.1016/S0261-5177(99)00057-6
Lakoff, G., & Johnson, M. (1980). *Metaphors we live by*. University of Chicago Press.
Lyddon, W. J., Clay, A. L., & Sparks, C. L. (2001). Metaphor and change in counseling. *Journal of Counseling & Development, 79*(3), 269–274.
Merriam, S. B., & Tisdell, E. J. (2016). *Qualitative research: A guide to design and implementation* (4th ed.). Jossey-Bass.
Öney, H. (2016). Gastronomi eğitimi üzerine bir değerlendirme. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi,* (35), 193–203.
Ottenbacher, M., & Harrington, R. J. (2007). The innovation development process of Michelin-starred chefs. *International Journal of Contemporary Hospitality Management, 19*(6), 444–460.
Özdemir, B., Çulha, O., & Kızılırmak, İ. (2019). Gastronomi öğrencilerinin kariyer yapma

niyeti: Kişisel özellikler ve sektörel algılar açısından bir değerlendirme. *Journal of Tourism and Gastronomy Studies, 7*(1), 14–30. https://doi.org/10.21325/jotags.2019.348

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

Richards, G. (2012). An overview of food and tourism trends and policies. In *Food and the tourism experience: The OECD–Korea workshop* (pp. 13–46). OECD Publishing. https://doi.org/10.1787/9789264171923-en

Richardson, S. (2008). Undergraduate tourism and hospitality students' attitudes toward a career in the industry: A preliminary investigation. *Journal of Teaching in Travel & Tourism, 8*(1), 23–46. https://doi.org/10.1080/15313220802410112

Saban, A. (2009). Öğretmen adaylarının öğrenci kavramına ilişkin sahip oldukları zihinsel imgeler. *Türk Eğitim Bilimleri Dergisi, 7*(2), 281–326.

Saban, A., Koçbeker, B. N., & Saban, A. (2006). An investigation of the concept of teacher among prospective teachers through metaphor analysis. *Educational Sciences: Theory & Practice, 6*(2), 509–522.

Santich, B. (2004). The study of gastronomy and its relevance to hospitality education and training. *International Journal of Hospitality Management, 23*(1), 15–24. https://doi.org/10.1016/S0278-4319(03)00069-0

Shenoy, S. (2005). *Food tourism and the culinary tourist* [Doctoral dissertation, Clemson University].

Tekin, Ö., & Çidem, M. (2015). Gastronomi eğitimi öğrencilerinin meslek algıları. *Journal of Tourism and Gastronomy Studies, 3*(1), 45–60.

Üst Can, Ç., & Solmaz, C. (2021). Aşçılık programı öğrencilerinin mesleklerine yönelik metafor algıları ve mutfak departmanında kariyere yönelik düşünceleri. *Journal of Tourism and Gastronomy Studies, 9*(2), 810–834.

Uyan Dur, B. İ. (2016). Metafor ve ekslibris. *Uluslararası Ekslibris Dergisi, 3*(5), 123.

NEWSJACKING STRATEJİSİ NEDİR, NE DEĞİLDİR?

Prof. Dr. Burcu ÖKSÜZ KAYA
İzmir Kâtip Çelebi University, Faculty of Humanities and Social Sciences, Department of Media and Communication, Çiğli-İzmir
ORCID ID: 0000-0003-4195-9261
Asst. Prof. Dr. İlknur KILINÇ
Kastamonu University, Faculty of Communication, Department of Journalism, 37150 Kuzeykent, Kastamonu
ORCID ID: 0000-0002-7322-406X

ÖZET
Kurumların/markaların tüketicilere ulaşması, ilişkilerini güçlendirmesi ve bağ kurabilmesi günümüzün neredeyse sınırsız mesaj akışı içerisinde oldukça zor hale gelmektedir. Dolayısıyla kurumlar/markalar tüketicilerle ilişkilerin kurulmasında ve sürdürülebilmesinde büyük zorluklarla karşı karşıya kalmaktadır. Tüketiciler, her an farklı mecralarda gerek günlük konularda gerekse markalarla ilgili değişik kaynaklardan akan enformasyonla karşılaşmakta ve bunların pek çoğunu görmezden gelmek zorunda kalmaktadır. Dolayısıyla iletişimin yoğunluğu ve karmaşıklığı, kurumların/markaların tüketicilere ulaşma amacının yerine getirilmesini çok daha güç hale getirmektedir. Bu durum, bir taraftan farklı iletişim yolları bulmayı diğer taraftan da yaratıcı içerikler üretmeyi gerekli kılar. Bu doğrultuda iletişim profesyonellerinin yararlandığı yaklaşımlardan biri de "newsjacking" stratejisidir. Söz konusu strateji kurumların/markaların gündemdeki olayları, haberleri, güncel gelişmeleri, dikkat çeken konuları iletişim çalışmalarına dahil etmelerini, bu şekilde görünürlüklerini artırmayı ve tüketicilere özgün mesajlarını iletebilmeyi kapsamaktadır. Newsjacking böylece kurumlara/markalara tüketicilere ulaşmaları açısından farklı bir yol sunmakta ve kendileri hakkında konuşulmayı sağlamaktadır. Diğer yandan bu strateji, tüketicilerin marka iletişimi çalışmalarına dahil olmasına da fırsat sunmaktadır. Bu çalışmanın temel amacı, newsjacking stratejisini kavramsal açıdan ortaya koymak, avantajlarını ve dezavantajlarını tartışmak ve örnek olaylar üzerinden uygulamaları değerlendirmektir. Dolayısıyla çalışma kapsamında yenilikçi bir yaklaşımın; iletişim uygulamalarını nasıl etkilediği, mesajları nasıl şekillendirdiği ve tüketicilere ulaşmayı nasıl kolaylaştırdığı üzerine bir irdeleme yapılacaktır. Çalışmanın ilgili literatüre ve iletişim pratiklerine katkı sağlayacağı öngörülmektedir.
Anahtar kelimeler: Newsjacking, tüketici ilişkileri, marka iletişimi, haber üretimi

WHAT IS AND ISN'T A NEWSJACKING STRATEGY?

ABSTRACT
In today's environment of virtually limitless message flows, it has become increasingly difficult for corporations and brands to reach consumers, strengthen relationships, and establish connections. Consequently, they face significant challenges in both initiating and maintaining relationships with consumers. Consumers are constantly exposed to information from various sources across different channels—ranging from daily topics to brand-related matters—and are often compelled to ignore much of it. The sheer intensity and complexity of communication thus make it far harder for corporations and brands to achieve their goal of reaching consumers. This situation necessitates finding alternative communication channels while simultaneously producing creative content. One approach utilized by communication professionals in this context is the "newsjacking" strategy. This strategy involves corporations and brands

incorporating current events, news stories, recent developments, and trending topics into their communication efforts to boost visibility and convey unique messages to consumers. In doing so, newsjacking offers corporations and brands a distinct avenue for reaching consumers and generating conversation around themselves. Furthermore, this strategy creates opportunities for consumer engagement with brand communication initiatives. The primary objective of this study is to conceptualize the newsjacking strategy, discuss its advantages and disadvantages, and evaluate its application through case studies. Accordingly, the study examines how this innovative approach influences communication practices, shapes messages, and facilitates consumer outreach. It is anticipated that the study will contribute to both the relevant literature and communication practices.
Keywords: Newsjacking, consumer relations, brand communication, news generation

1. GİRİŞ

"Newsjacking" kavramı David Meerman Scott tarafından 2011 yılında yayımlanan "Newsjacking: How to Inject your Ideas into a Breaking News Story and generate tons of Media Coverage (Newsjacking: Fikirlerinizi güncel bir haberin içine nasıl dahil edersiniz ve medya koverajını nasıl artırırsınız?)" isimli kitabında ortaya atılmıştır. Angell ve diğerleri (2020, s. 757) bu kavramın kökeninin 1970'li yıllara, gazete hırsızlığı yoluyla haksız kazanç sağlamanın yaygın olduğu bir döneme dayandığını ileri sürmektedirler. Gazeteci, ekonomist ve pazarlama uzmanı olan Scott'ın önerdiği bu kavramı 2017 yılında Oxford Sözlüğü kendi listesine dahil etmiştir. İngilizcede "haber" (news) ve "gasp etmek/ele geçirmek" (hijacking) kelimelerinin birleşiminden oluşan newsjacking kavramı, haberin geniş kapsamı sayesinde markanın içeriklerinin pek çok kişi tarafından ziyaret edilmesine dayanmaktadır (Pachal vd., 2024). Haberler her an her yerdedir, sosyal medyadan yayın organlarına ve günlük sohbetlere kadar istensede de istenmese de haberlere maruz kalınmaktadır. Yoğun haber akışı içinde halkla ilişkiler içeriklerinin kaybolması oldukça kolaydır. Bu nedenle güncel, ilgi çekici ve haber değeri taşıyan gelişmeler yakalanmaya çalışılır. Haber gündeminin o an neye odaklanacağının kestirilemediği durumlarda medyada görünür olmak daha da zordur (Zlatin, 2026). Sektörde bir gelişme yaşandığında, muhabirler ve analistler konu hakkında yorum yapacak uzmanlara ulaşmaya çalışırlar. Bu noktada newsjacking stratejisi, medyanın dikkatini çekmeye katkı sağlar (Sridevi ve Chandramohan, 2019, s. 572). Dolayısıyla newsjacking; markanın sesini, uzmanlığını veya bakış açısını son dakika haberlerine dahil ederek görünürlük kazanmayı sağlamaktadır. Başarılı şekilde yapıldığında güvenilirlik oluştururken, kötü yapıldığında zararlı olabilmektedir. Örneğin bir politika güncellemesinde; gazeteciler konu hakkında yazmaya başlamışken müşterinizin de söyleyecek bir sözü vardır. Bu süreçte newsjacking, medyadan gelecek talepleri beklemenin aksine doğru anı tespit edip, konuyla ilgili anlatı henüz şekillenmeden kendi bakış açınızı ortaya koymanıza fırsat sunmaktadır (Pitek, 2026). Bu anlamda newsjacking markaların/kurumların mesajlarının yarıştığı bir dönemde farklılaşma konusunda bir yol sağlamaktadır. Dijital platformlardan yayılan içeriklerin hedefine ulaşması ve markaların ücretsiz şekilde etkileşim sağlayabilmesi sürecinde bu tür uygulamalar ön plana çıkmaktadır.

Newsjacking çok çeşitli mecralar kullanılarak hayata geçirilebilse de, teknolojideki gelişmeler ve özellikle sosyal medyanın kullanımı sayesinde artık her yerde karşımıza çıkmaktadır (Angell vd., 2020, s. 756). Güncel olaylar markalar tarafından kendilerinin hikaye anlatılarıyla entegre edilmekte, o anda içerik üretilerek özellikle sosyal medyada olmak üzere çeşitli dijital ortamlarda paylaşılmaktadır. Newsjacking, tüketicilerle bağın kurulmasına ve gündemdeki olaylara hızlı şekilde katılmaya destek olmaktadır (Özer Alper, 2025, s. 118). Örneğin, 2017

yılında Prens Harry ve Meghan Markle nişanlandıklarını duyurduklarında bu olay, dünyanın ve sosyal medya içerik üreticilerinin dikkatini çeken bir kraliyet aşkı hikâyesi olmuştur. Harry'nin evlilik teklifinin bir kutu kızarmış tavuk eşliğinde kabul edildiğine dair söylentilerden yola çıkan KFC, altın şeritlerle süslenmiş bir tavuk kovasının görselini paylaşmış ve gönderiye "Kraliyet usulü bir kutlama ve coşku günü ilan ediyoruz [...] Ve Kızarmış Tavuk" notunu eklemiştir. Dunkin' Donuts ise bu olayı fırsata çevirerek donut taşıyan bir at arabasının görsellerini paylaşmıştır (Angell vd., 2020, s. 755). Özellikle merak uyandıran, insanların üzerinde konuştuğu dikkat çeken olaylar hakkında yapılan newsjacking uygulamalarının hedef kitleler tarafından ilgiyle karşılandığı görülmektedir. Kraliyet aşkı örneğinde olduğu gibi dünyaya yayılan son dakika haberleri gözlerin markalara çevrilmesi açısından da bir fırsat niteliğindedir. Bu fırsatı iyi kullanan markalar neredeyse habere konu olan olay kadar konuşulmaktadır.

Newsjacking, medyada önemli bir haberin yayımlanmasının ardından, bir marka veya işletmenin içerik yayımlayarak bu haberin yarattığı dalgayı kendine yönlendirmesi anlamına gelmektedir (Pachal vd., 2024). Oxford Sözlüğünde (2026) newsjacking sözlüğü "güncel olaylardan veya haberlerden, bir ürünün ya da markanın tanıtımını veya reklamını yapmak amacıyla yararlanma uygulaması" olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir tanımla newsjacking; dikkat çekmek, halkla ilişkiler kapsamı elde etmek ve bir trendden faydalanmak amacıyla, bir habere uzmanlıkla ve anında tepki vermektir (Chang, 2026). Diğer yandan newsjacking, medya görünürlüğünü artırmak amacıyla gündemdeki popüler haber hikayelerinden yararlanma pratiği olarak açıklanmakta (Gripich ve Grushevich, 2018, s. 1), markanızla/kurumunuzla bağlantılar kurarak öne çıkan bir haberden zamanında yararlanmak anlamına gelmektedir (Flowers ve Sterbenk, 2016, s. 230). Dolayısıyla medyada veya sosyal medyada dikkat çekmek amacıyla halihazırda gündemde olan haberlerden yararlanılmaktadır (Santacaterina vd., 2026; Weverbergh, 2019). Newsjacking geniş kitlelerin ilgisini çekecek ve mevcut hikâyeye yeni bir boyut katacak içerikler bulmakla ilgilidir. Bu gereklilik gazetecilerin okuyucularına çeşitli bakış açıları sunmalarına destek olurken, ele alınan konuyla güncel ve bağlantılı kalmayı da gerektirir (Hull, 2024). Tanımlardan yola çıkarak newsjacking uygulaması markalara/kurumlara yaşanan bir gelişmeye karşı kendi sözünü söyleme ve hikayeye ortak olma fırsatı sunmaktadır. Doğru şekilde uygulandığında herkesin odaklandığı haberlerde markaların izine rastlamak ve hikayesini dinlemek mümkün olmaktadır. Markalar hikayeye ne kadar başarılı şekilde ortak olursa, hedef kitlelere ulaşma ve farkındalık yaratma açısından o kadar kazanım elde ederler.

Newsjacking'in sağladığı olanaklardan yararlanmak elbette ki bazı hususlara dikkat edilerek gerçekleşmektedir. Newsjacking'den nasıl yararlanılacağı sorusunu Sridevi ve Chandramohan (2019) şöyle açıklamaktadır:

- Bu yöntemi etkili bir şekilde uygulamanın anahtarı, hızlı düşünmek ve hızla harekete geçmektir.
- Haberleri yakalamak için gündemin sürekli takip edilmesi gereklidir.
- Anahtar kelime arama hacmi kontrol edilmelidir.
- Konu hakkında okuma yapılmalıdır. İçerik oluşturmaya başlamadan önce haberin kaynağı bulunmalı ve başkalarının bu haber hakkında yazdıkları incelenmelidir.
- Hızlı ama doğru yazılmalıdır. Sonuçta bir habere ilk tepki veren olunmalıdır.

Newsjacking, mükemmel bir zamanlama duygusuna ihtiyaç duyar. Başarı için haber hızla

yayılıp ilgi çekerken ancak medyanın çoğunluğu henüz konuyu haberleştirmeden önce (sosyal medya veya basın bülteni ile) markanın/kurumun kendi tepkisini ortaya koyması gerekmektedir (Weverbergh, 2019). Bu süreçte dalgayı yakalayabilmek için kısa bir fırsat penceresi bulunmaktadır. Bu pencerenin genişliği, hikâyenin ne kadar yeni olduğuna ve konu etrafındaki söylemin kapsamına bağlıdır (Hull, 2024). Sorensen'e göre (2013) newsjackingin amacı, dikkat ve trafik çekmek üzere mevcut haberlerden yola çıkarak bir hikâye oluşturmaktır. Şöyle ki bu yeni hikâye artık asıl haberin ötesine geçerek başlı başına bir hikâye haline gelir. Bu anlamda newsjacking markalara yeni bir hikaye oluşturmaları konusunda şans sunmaktadır. Hikayeyi kendi bakış açınızdan yeniden yazdığınızda artık haber sizin kendi anlatımınıza dönmüş olacaktır.
Scott (2011) newsjacking yönteminde başarının üç aşamadan oluştuğunu vurgular. İlk olarak kişiler kendi içerikleri ve uzmanlıklarıyla örtüşen, işleriyle ilişkilendirilebilecek haberler bulabilmektedirler. İkincisi kişilerin gerçek zamanlı bir strateji oluşturmak adına hızlı ve zeki olmaları gereklidir. Son olarak bu yöntem bir web sitesinde, Twitter'da bir tweet ya da Instagram veya Facebook gibi sosyal ağlarda bir paylaşım aracılığıyla gerçekleştirebilmektedir. Zekice yapılmış bir newsjacking ile özensiz olanı birbirinden ayıran temel ölçüt, sağlanan değerdir. Karmaşık bir konu basitleştiriliyorsa ya da meseleye gerçek bir bağlam kazandırılıyorsa, o zaman bu yöntem anlamlı olmaktadır. Aksi halde yalnızca gürültü olmaktan öteye geçememektedir (Pitek, 2026). Tam bu noktada markalar Newsjacking uygulamaları açısından farklılaşamama durumuyla karşı karşıya kalmaktadır. Herkesin tepki verdiği son dakika haberine özgün olmayan bir şekilde dahil olduğunuzda diğer markalardan ayrılmanız ve habere kendi imzanızı atmanız mümkün olmayacaktır.
Newsjacking stratejisinde önemli olan "herkese ulaşmak değil, editörlere, muhabirlere ya da yayın yönetmenlerine ulaşmaktır. Buna fenomenlerin bağlı olduğu ajanslar da" eklenebilir (Akkuş, 2021). Başarılı bir newsjacking uygulamasında kurum, haber akışına kendi mesajlarını dahil etmeyi başarmış olur. Bunun gerçekleşebilmesi için kısa süre içinde yoğun basın ilgisi uyandıran bir olaya (genellikle hızlı bir biçimde) yanıt verilmesi gerekir (Weverbergh, 2019). Özer Alper (2025) IKEA, Norwegian Airlines ve ASOS markalarının newsjacking kapsamındaki uygulamalarına yönelik çalışmasında, gündeme uyum gösterebilmesinin yanında markaların kimliği ve değerleriyle tutarlılık gösteren anlatı inşa edebilmenin önemine işaret etmektedir. Başarıda günceli anında yakalamanın yanında mizahi ve duyarlılık göstermenin etkili olduğu ortaya konulmuştur.

Gripich ve Grushevich (2018, s. 2) newsjacking uygulamalarında başarılı olmak için yapılması gerekenleri şöyle sıralamaktadır:

- *Siteye özen göstermek.* İnsanlar güncel bir olayla ilişkilendirilen içeriği görüntülediklerinde, bir süre daha sitede kalarak diğer içerikleri de keşfedebilirler.
- *Sosyal erişim alanını genişletmek.* Günümüzde her olayın bir etiketi (hashtag) bulunmaktadır. İçeriği başkalarının da kullandığı etiketlerle desteklemek, erişimi en üst düzeye çıkarmaya yardımcı olur.
- *İçerik stratejisini çeşitlendirmek.* Dünyada yaşanan gelişmelere odaklanmak, yeni fikirler doğurabilir.
- *Markayı güncel tartışmaların bir parçası haline getirmek.* İnternette neler konuşulduğunu takip etmek, tepki vermek ve etkileşim kurmak için bir fırsattır.

Stanton (2023) ise newsjacking stratejisinden yararlanarak etkileşimi artırmak ve iş hacmini büyütmek için bazı ipuçlarını şu şekilde sıralamaktadır:

- Hazırlıklı olmak
- Gelişmeleri takip etmek
- Seçici olmak
- Hızlı hareket etmek
- Gazeteciyi düşünmek
- Medya kanallarını kullanmak

Newsjackingden başarılı şekilde yararlanıldığında markalar/kurumlar pek çok fayda elde etmektedir. Bir haber hikayesinden minimum çabayla yararlanmak, markanın görünürlüğünü artırmak ve onu kitlelere ulaştırmak, önemli düzeyde etkileşim yaratmak, marka sadakatini güçlendirmek, markanın değerlerini sergilemek açısından olanaklar elde edilmektedir (Oliveria, 2023). Şöyle ki newsjacking, güvenilirlik oluşturmak ve kazanılmış medya (earned media) elde etmek için etkili bir yoldur (Pitek, 2026). Güncel olaylardan yararlanılarak hem bağlantı kurulabilmekte hem de marka bilinirliğini güçlendirilebilmektedir. Ancak bu süreçte göz önünde bulundurulması gereken, yöntemin oldukça hareketli ve öngörülemez olmasıdır. Haberin gerçekleştiği o anın rüzgârını arkasına almak, bir marka/kurum için çok büyük kazanımlar sağlayabilmektedir (Zlatin, 2026). Newsjacking stratejisi markaya SEO avantajları sağlar, itibarını güçlendirir ve doğrudan satışa dönüşebilecek bir trafik akışı yaratır. Üstelik tüm bunların hızlı ve kolay bir şekilde gerçekleşmesine destek olmaktadır (Sridevi ve Chandramohan, 2019, s. 572). Dikkatli şekilde yapıldığında markaların hedef kitleleriyle daha derin bağlantı kurmasına, mizahı ve ortak değerleri sergilemesine ve güncel konulara zamanında yanıt vermesine fırsat sağlamaktadır (Nikitina, 2024). Newsjacking, markayı hâlihazırda devam eden konuşmaların içine dahil etmektedir. Markanın sıfırdan dikkat çekmeye çalışması yerine, var olan bir ivmeden faydalanması anlamını taşımaktadır. Öte yandan görünürlüğü artırmakta, güvenilirliği inşa etmekte ve yöneticilerin dünyada olup bitenleri anında kavrayan kişiler olarak algılanmasına olanak sunmaktadır (Pitek, 2026). Dolayısıyla newsjacking, markanın gündemdeki gelişmeleri takip eden daha sempatik bir kişilik olarak algılanmasında da fayda sağlamaktadır. Newsjacking uygulamalarında başarı sağlamış markalara baktığımızda paylaşımlarının mizahi ve samimi göründüğünü söylemek mümkündür. Böyle algılandığında kitleler markaların bu paylaşımlarına daha fazla dahil olmakta ve içeriklerini yeniden paylaşmaktadır.

Stanton (2023) newsjacking stratejisinin sağladığı faydaları şu şekilde sıralamaktadır:

- Hedef kitleye erişimi ve etkileşimi artırmak.
- Otoriteyi ve marka güvenilirliğini güçlendirmek.
- Çevrim içi varlığı artırmak.
- Medya yansımaları ve sosyal medya etkileşimi elde etmek ve dijital ayak izini genişletmek.

Newsjacking markaya bir kişilik katmakta, sadece dış etkilere tepki veren bir yapı değil aynı zamanda farkındalık sahibi ve gündemle iç içe olduğunu göstermesine destek olmaktadır. Öte yandan daha küçük veya yeni markalara, kendi ölçeklerinin üzerinde bir etki yaratma fırsatı da sunmaktadır. Şöyle ki doğru zamanda sunulan ve üzerinde düşünülmüş bir bakış açısı, çok daha büyük bir rakibi geride bırakmaya destek olabilmektedir (Pitek, 2026). Tüketiciler yaşanan olaylara bağlı olarak çeşitli ürün ve hizmetlere ilgi duymaya başlayabilirler. Dolayısıyla newsjacking, küçük ya da büyük farketmeksizin markalara yeni müşteriler kazandırma sürecinde katkı sağlamaktadır. Diğer yandan etki alanlarının yerel düzeyden küresele

genişletilmesinde de etkili olmaktadır (Sridevi ve Chandramohan, 2019, s. 572). Görüldüğü üzere newjacking markalara büyük reklam bütçelerine sahip olmadan büyük etkiler yaratabilme şansı vermektedir. Başarılı bir şekilde uygulanmış newsjacking stratejisi, küçük bir yerel markanın küresel düzeyde konuşulmasına yol açabilmektedir.

Zlatin (2026) newsjackingin sağladığı üç açık faydayı şöyle sıralamaktadır:

- Doğru zamanlama, anında medya görünürlüğü anlamına gelir. Benzersiz bir hikaye doğru anda (bir haberin ortaya çıkması ve gazetecilerin daha fazla bilgi araması arasında) sunulduğunda hızlı şekilde medya görünümü elde edilir.
- Medya görünürlüğü, markanın/kurumun konunun uzmanı olarak kabul görmesini sağlar. Bir gecede başvurulacak bir kaynak olunması mümkün olur.
- Yayın ortaklığı yoluyla düzinelerce yayın sağlanabilmektedir.

Newsjacking stratejisi sağladığı faydaların yanı sıra bazı riskleri de barındırır. Cesur olmanın diğer yüzü dikkatli olma zorunluluğudur. Yanlış uygulanmış newsjacking, sosyal medyada büyük krizlere yol açabilmektedir. Bilindiği üzere haberlerde genellikle trajik olaylar ön plandadır. Markaların kendilerini bu tür olaylarla ilişkilendirirken temkinli davranmaları bir gerekliliktir (Gripich ve Grushevich, 2018, s. 2). Bu anlamda newsjacking özellikle olumsuz çağrışımlar içeren haberler açısından oldukça riskli hale gelmektedir. Örneğin yıkım gibi olaylar söz konusuysa, nasıl anlamlı bir bağ kurulabileceği üzerine detaylı bir şekilde düşünülmesi bir gerekliliktir (Sridevi ve Chandramohan, 2019, s. 574). Newsjacking stratejisi açısından en büyük risk, itibar kaybı olarak değerlendirilmektedir. Anı kaçırmanın yanı sıra olayları yanlış yorumlamak da risk taşır. Hassas olaylarda markaların dikkatsiz ve bağlamı düşünmeden yorum yapmaları, güvenilirlikleri üzerinde olumsuz etkiler oluşturabilir. Aynı zamanda zamanlama hataları, aşırı kullanım ve zorlayarak alaka kurma sorunları da öne çıkmaktadır. Her olay markalar için bir fırsat niteliği taşımamaktadır ve dolayısıyla her şeye yorum yapmaya çalışan markalar anlamlı bir şey söyleyememe riskiyle de karşılaşmaktadır (Pitek, 2026). Elbette ki newsjacking stratejisinden yararlanan markalar itibar, sadakat, etkileşim, göz önünde olma gibi avantajlar elde etmektedirler. Ancak kendileriyle uyumlu olmayan, değerlerini yansıtmayan içeriklerle ön plana çıktıklarında kriz yaşama, itibar kaybetme ve tüketicilerden olumsuz tepkiler alma riskleriyle karşı karşıya kalmaktadırlar. Bundan dolayı markaların newsjacking stratejisinden yararlanırken dikkatli olmaları, içerik oluştururken özenli davranmaları ve değerleriyle çelişen paylaşımlardan uzak durmaları gerekmektedir. Böylece küçük ya da büyük olmasına bakılmaksızın markalar geniş kitlelere ulaşabilir ve newsjacking stratejisinin sunduğu avantajlardan yararlanabilir. Başarılı örneklere baktığımızda newjacking kapsamındaki paylaşımların markaların kendi hikayeleriyle uyumlu olduğu görülmektedir.

2. YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında newsjacking stratejisinin teorik olarak ortaya konulması ve başarılı olmuş örneklerle konunun değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada vaka analizi yönteminden yararlanılmıştır. Bu yöntem "farklı kaynaklardan bilgi toplama fırsatı sunması ile araştırmacıya önemli bir avantaj sağlamaktadır." (Madran ve Süygün, 2015, s. 76). Araştırma sürecinde newsjacking stratejisini başarıyla kullanan ve önemli kazanımlar elde etmiş olan üç örnek analiz edilmiştir: "Starbucks ve Game of Thrones Unutulan Bardak", "Oreo'nun "Dunk in the Dark" (Karanlıkta Batır) Super Bowl Elektrik Kesintisi", "Heinz ve Barbie İş Birliğinde Barbiecue". Bu çalışmalar dünya çapında ses getirmiş, önemli düzeylerde sosyal medya

etkileşimi sağlamıştır. Üstelik sözü edilen markalar, reklam bütçesi ayırmadan büyük tanıtım kazanımları sağlamıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Starbucks ve Game of Thrones Unutulan Bardak Örneği

HBO'nun dizisi "Game of Thrones"un setinde unutulan bir kahve bardağı, Starbucks için beklenmedik bir kazanç sağlamıştır. Dizinin "The Last of the Starks" isimli bölümünde Jon Snow ve Daenerys Targaryen gibi önemli karakterlerin bulunduğu bir sahnede, masanın üzerinde karton bir kahve bardağı görülmüştür. Bu hata, sosyal medyada hızla yayılan bir konu haline gelmiştir. Starbucks, yaptığı bir paylaşımla bu olaya işaret ederek "Daenerys'in bir ejderha içeceği (dragon drink) sipariş etmemiş olmasına şaşırdık" ifadesini kullanmıştır. Dizinin yapımcılarından Bernadette Caulfield, WNYC Radyosu'na verdiği röportajda sözü edilen hatayı doğrulamıştır (Barrabi, 2019). Oysa ki görünen bardak Starbucks'a ait değil, başka bir kahve markasınındır. Ancak Starbucks ile olan ilişkilendirme, markanın gücünün bir kanıtı olarak değerlendirilmiştir. Starbucks, Game of Thrones'taki bu hata sayesinde üstelik de kendilerinin olmayan bir kahve bardağından ötürü tahminen 2,3 milyar dolarlık bedava reklam elde etmiştir (Whitten, 2019). Başarılı şekilde uygulanmış bu newsjacking örneği markaların hiçbir harcama yapmadan nasıl büyük bir tanıtım fırsatı elde ettiklerinin bir göstergesi niteliğindedir. Elbette ki Starbucks'ın ikonik hale gelmiş olan karton kahve bardağı da akıllara doğrudan markanın gelmesine neden olmuştur. Bu durum, tüketicilerin zihinlerindeki marka algısı ve marka ile ilişkilendirilen ögelerin, başka içerikleri yorumlamalarında da etkili olduğunu göstermektedir. Aşağıda yer alan Görsel 1'de kahve bardağının göründüğü sahneye yer verilmiştir.

Görsel 1. Kahve bardağı görünen Game of Thrones sahnesi



Kaynak:https://medium.com/@finn.brussel/newsjacking-a-how-to-leverage-the-news-to-build-your-brand-3f73b2e525df

Dizinin sahnesinde unutulan kahve bardağına karşılık Starbucks'ın attığı tweete aşağıda yer alan Görsel 2'de yer verilmiştir.

Görsel 2. Starbucks tweeti



Kaynak:https://medium.com/@finn.brussel/newsjacking-a-how-to-leverage-the-news-to-build-your-brand-3f73b2e525df

Yukarıda görünen Starbucks'ın tweetinde biraz mizah ve bir Starbucks ürünü kullanmayı başarması da dikkat çekicidir (Starbucks'ın Dragon Drink isimli ürünü bulunmaktadır). (Weverbergh, 2026). Newsjacking uygulamasında hızlı davranmanın yanında içeriklere markanın hikayesinin eklenmesi de başarı için önemlidir. Starbucks'ın tweeti var olan bir ürününü içermesi sebebiyle de önemli bir tanıtım olanağından yararlanmaktadır. Game of Thrones gibi tüm dünyada yaygın şekilde izlenen, yeni sezonları merakla beklenen ve bölümleri sıklıkla tartışılan bir dizide Starbucks'ı anımsatan ve hakkında konuşturan bir sahnenin olması kuşkusuz ki büyük bir fırsattır. Ancak burada önemli olan nokta, bu fırsata nasıl karşılık verildiğidir. Starbucks'ın tweetine baktığımızda mizahi ve samimi bir tonda olduğunu görmekteyiz. Bu durumun markanın genel iletişim uygulamalarıyla da bütünleşen bir yapıda olduğu değerlendirilmiştir.

Oreo'nun "Dunk in the Dark" (Karanlıkta Batır) Super Bowl Elektrik Kesintisi Örneği

Super Bowl maçı sırasında, New Orleans Superdome'daki elektrikler 35 dakikalığına kesilmiş, insanlar bu durumu konuşmak için sosyal medyaya özellikle de Twitter'a yönelmiştir (Scott, 2011). Bu konunun #BlackoutBowl etiketiyle konuşulmaya başlanması sadece saniyeler alırken, markaların bu gelişmeyi fırsat görerek çalışmalarına dahil etmeleri ise beş dakikadan daha az sürmüştür. Bu çalışmalardan en iyisi, Twitter'da paylaştığı içerikle Oreo olarak değerlendirilmektedir. Oreo'nun "Elektrik kesintisi mi? Sorun değil. Karanlıkta da bisküvinizi süte batırabilirsiniz" tweeti, bu olayda büyük bir popülarite kazanmıştır (Scott, 2013). Nikitina (2024) Oreo'nun tıpkı mükemmel dalgayı yakalayan deneyimli bir sörfçü gibi gündemdeki bir olayı ustalıkla değerlendirdiğine, güncel gelişmeleri stratejisine dahil ederek markası adına viral bir başarıya dönüştürdüğüne vurgu yapmaktadır. Bu süreçte #BlackoutBowl kapsamında newsjacking çalışmaları üzerine pek çok gönderi ve makale yayınlanmıştır (Scott, 2013). Oreo'nun paylaşımı herkesin gözünün üstünde olduğu güncel bir olayı markasının mesajıyla bütünleştirilmesi açısından büyük bir başarıya imza atmıştır. Anlık bir olayı hızlıca davranarak yüksek etkileşim getiren bir içeriğe dönüştürmüş, neredeyse elektrik kesintisi kadar gündem olacak bir hamleye imza atmıştır. Bu örnek bize güncel gelişmeleri sürekli takip etmenin ve hızlı paylaşımlara sürekli hazır bulunmanın gerekliliğini göstermektedir. Aradan uzun zaman geçmesine rağmen Super Bowl elektrik kesintisi denildiğinde Oreo'nun newsjacking çalışması hala akla gelmekte ve markaların gündemle bütünleşmesine örnek olarak gösterilmektedir.

Oreo'nun paylaşımı aşağıda yer alan Görsel 3'te sunulmaktadır.

Görsel 3. Oreo tweeti



Kaynak: Scott, 2013.

Oreo'nun newsjacking çalışmasının başarılı olmasının altında hızlı, zekice ve eğlenceli, tartışma yaratmayacak nitelikte, markayla ve markanın vermek istediği mesajlarla bağlantılı olması yer almaktadır. Oreo, Super Bowl sırasında televizyon reklamlarına milyonlarca dolar harcamıştır. Görüntülenme maliyetlerine bakıldığında, newsjacking markaya çok daha büyük bir getiri sağlamıştır (Scott, 2013). Oreo'nun paylaşımı 15.000 kez yeniden tweetlenmiş, 20.000'den fazla beğeni almış, markanın sosyal medya takipçi sayısını 8.000 kişi artırmış ve medyada geniş yer bulmuştur. Öte yandan markanın zeki ve fırsatları değerlendiren kişiliğini ortaya çıkarmış; bilinirliğini artırmış; anlara gerçek zamanlı tepki verebilen, eğlenceli ve insanların bağ kurabildiği marka imajının desteklenmesine katkı sunmuştur (Nikitina, 2024). Burada belirtilmesi gereken nokta, bu haberden yararlanmayı etkili kılanın sadece hız değil, hazırlık olduğudur. Haberden başarılı şekilde yararlanmak hızlı olmanın yanında hassasiyet de gerektirir. Bu bağlamda markalar, bir haber olayının kendi değerleri ve söylemleriyle örtüşüp örtüşmediğini hızla şekilde değerlendirmelidir (Chelvan, 2025). Oreo'nun başarılı olmasının altında yatan, anlık elektrik kesintisini kendi markasıyla ve mesajlarıyla birleştirmekteki yeteneğidir. İnsanlar halihazırda alışık oldukları Oreo mesajı ile elektrik kesintisi süresince hızlıca karşılaştılar. Paylaşımın samimi ve esprili olması da insanların daha sempatik

yaklaşmasının ve bu örneğin sıklıkla konuşulmasının yolunu açmıştır. Sonucunda bu örnek Oreo'ya büyük bir başarı getirmiştir.

Heinz ve Barbie İş Birliğinde Barbiecue Örneği

Heinz, Barbie filminin yarattığı yoğun talebi fırsata çevirerek Mattel ile koordineli bir halkla ilişkiler hamlesi geliştirmiş, sınırlı sayıda üretilen soslarını piyasaya sürmüştür (Chang, 2026). "Barbiecue Sauce" (Barbie-barbekü sosu) ve "Kenchup" (Ken-ketçap), Barbie markasının iki ikonunu; Heinz'ın dünya çapında en bilinen iki ürünüyle (barbekü sosu ve domates ketçabı) bir araya getirmiştir. Heinz, ürün raflara çıkmadan aylar önce merak uyandırmak amacıyla tanıtım hamlesi hazırlamış; gelen kamuoyu tepkilerinden girişimin başarısını ölçmek için yararlanmıştır. İlk merak uyandırıcı paylaşımlar, filmin gösterime girmesinin ardından izleyici tartışmalarının yoğun olduğu bir döneme denk getirilmiştir. Content Explorer verilerine göre Barbiecue kampanyası; Bloomberg, Yahoo, CBS News ve The Standard gibi medya kuruluşlarında yansıma kazandırmıştır (Linehan, 2024; https://shortyawards.com/16th/heinz-mattel-barbiecue-sauce, 2023). Bu newsjacking çalışması, iki güçlü markanın bir araya gelerek gündemdeki bir olaydan (filmden) başarılı şekilde yararlanmasının güzel bir örneğidir. Barbie filmi gösterime girmeden önce tüm dünyada yaygın şekilde konuşulmuş ve vizyon tarihi beklenmiştir. İnsanların dikkatini çeken böyle bir olaya Heinz markasının dahil olması markanın göz önünde olma düzeyini de artırmıştır. Yapılan sosyal medya paylaşımlarındaki kullanıcı yorumlarına bakıldığında yeni geliştirilen bu ürün hakkında olumlu düşüncelerin fazlalığı dikkat çekmektedir. Aşağıda yer alan Görsel 4'te geliştirilen ürünler sunulmuştur.

Görsel 4. Barbiecue Sauce ve Kenchup



Kaynak: Chang, 2026.



Kaynak: Linehan, 2024.

Yukarıda söz edilen iş birliği kapsamında reklam harcaması olmaksızın 38 milyon organik sosyal medya gösterimi yapılmıştır. Sektör ortalaması olan %5'lik değere karşılık ortalama %10'luk bir etkileşim oranı sağlanmıştır. Heinz US (@heinz), o güne kadar ki en yüksek etkileşimi alan organik Instagram paylaşımına ulaşmıştır (%5'lik ortalamaya karşılık %15 etkileşim oranı). Lansman sırasındaki paylaşım, Heinz UK'in (@HeinzUK) 2023 yılındaki en iyi performans gösteren Twitter/X paylaşımı olmuştur. UniLad ve Famous Campaigns gibi mecraların habere yer vermesi sonucunda, kazanılmış medya ile 8 milyon gösterim daha ulaşılmıştır. Heinz hayranlarının yanında, Barbie ve Mattel hayranlarından da büyük ilgisi elde edilmiştir. Tek sosyal medya içeriği, Heinz'a küresel ölçekte gündemdeki bir konuda öne çıkma olanağı sağlamıştır (https://shortyawards.com/16th/heinz-mattel-barbiecue-sauce, 2023). Önemli bir başarıya imza atmış bu newsjacking uygulaması, sosyal medya kullanıcı sayısının inanılmaz boyutlara ulaştığı günümüzde markaların ne kadar büyük ölçekte bir etkileşim kazabileceğini göstermektedir. Gündemdeki konular markaların farklılaşması, konuşulması ve kitlelerle bağ kurması açısından bir fırsat niteliğindedir. Bu örnekte olduğu gibi markaların iş birliği içerisinde gerçekleştirdikleri çalışmalar, birbirlerinin tüketicilerine ulaşmaları açısından da önemlidir. Newsjacking stratejisinin markalara sunduğu etkileşim fırsatının en iyi örneklerinden birinin sözü edilen iş birliği olduğu söylemek mümkündür.

4. SONUÇ

Bu çalışmada günümüzün önemli iletişim stratejilerinden biri olarak kabul gören newsjacking örneklerle incelenmiştir. Newsjacking stratejisi; markalara/kurumlara rakiplerinden farklılaşma, sayısız mesajın arasında içeriklerinin hedef kitlelere ulaşmasını sağlama, marka bilinirliğini ve sadakatini artırma, sempati oluşturma ve yüksek oranda etkileşim yaratma açısından büyük fırsatlar sunmaktadır. Çalışma kapsamında newsjacking stratejisinin başarıyla uygulandığı Oreo "Dunk in the Dark" (Karanlıkta Batır) Super Bowl Elektrik Kesintisi, Heinz ve Barbie iş Birliğinde Barbiecu ve Starbucks ve Game of Thrones Unutulan Bardak vakaları incelenmiştir. Bu örnekler markaların özenle gerçekleştirdikleri newsjacking uygulamaları sonucunda marka farkındalığı, kullanıcı sempatisi, yüksek etkileşim oranları ve kullanıcılarla bağ kurma açısından getirdiği avantajları açıkça göstermektedir.

Newsjacking stratejisi, markaların hızlı şekilde içerik üretmelerini ve paylaşmalarını gerektirmektedir. Ancak bu süreçte hızlı davranırken dikkatli olmaktan ve özenli davranmaktan vazgeçilmemesi bir zorunluluktur. Markaların kendileri ile alakalı olmayan veya içerik üretemeyecekleri olaylara dahil olmaları başarının önüne engel oluşturabilir. Öte yandan hassas konularda dikkatsizce üretilen içerikler, krizlerin patlak vermesine ve markalar açısından olumsuzlukların oluşmasına neden olabilir. Bu nedenle markaların hazırlıklı olması, gündemi takip etmesi ve kendileriyle ilgili konuları analiz etmeleri önem teşkil etmektedir. Aksi halde newsjacking uygulamasının avantajlarından yararlanmanın yerine olumsuzluklarla karşılaşılabilir.

Bu çalışma kapsamında analiz edilen örneklere dayanılarak newsjacking stratejisinin başarısının gerçekleşen haber olayının niteliğine ve stratejinin marka değerleriyle örtüşmesine bağlı olarak gerçekleştiğini söylemek mümkündür. Hazırlanan içerikler özgün olmalı, markayla tutarlı olmalı ve tartışmalara yer bırakmayacak şekilde olmalıdır.

KAYNAKÇA

Akkuş, T. (2021). Newsjacking ve gerçek zamanlı pazarlama farkları. https://tolgaakkus.com/2021/06/16/newsjacking-ve-gercek-zamanli-pazarlama-farklari/, Erişim Tarihi: 12.09.2026

Angell, R., Gorton, M., Bottomley, P., Marder, B., Bhaskar, S., & White, J. (2020). News you can use! Evaluating the effectiveness of newsjacking based content on social media. *Information Technology & People*, 33(2), 755-773.

Barrabi, T. (2019). Game of Thrones Starbucks cup worth $11.6M in brand exposure, firm says. https://www.foxbusiness.com/media/game-of-thrones-starbucks-cup-brand-value

Chang, D. (2026). Newsjacking Do's and Don'ts from a BBC journalist turned PR professional. https://www.cision.com/resources/articles/newsjacking-dos-donts/, Erişim Tarihi: 12.09.2026

Chelvan, T. (2025). Newsjacking vs trendjacking: examples, benefits & use cases. https://presscable.com/insights/newsjacking-vs-trendjacking-examples-benefits-use-cases/

Flowers, A. A., & Sterbenk, Y. (2016). Winter, you win: Ithaca convention and visitors Bureau "Surrenders" to key west with an unconventional campaign that goes viral. *Case Studies in Strategic Communication*, 5(1), 224-234.

Heinz and Mattel - Barbiecue Sauce and Kenchup. https://shortyawards.com/16th/heinz-mattel-barbiecue-sauce, Erişim Tarihi: 12.09.2026

Hull, E.L. (2024). Newsjacking: What it is and how to use it effectively. https://www.libertymarketing.co.uk/blog/newsjacking-what-it-is-and-how-to-use-it-effectively/, Erişim Tarihi: 05.09.2026

Linehan, L. (2024). 9 Successful PR campaign examples, according to the data. https://ahrefs.com/blog/pr-campaign-examples/, Erişim Tarihi: 12.09.2026

Gripich, K., & Grushevich, M. (2018). Newsjacking as an alternative to a typical marketing strategy. https://eprints.zu.edu.ua/27335/1/Gripich_doc.pdf, Erişim Tarihi: 12.09.2026

Madran, C., & Süygün, M. S. (2015). Uluslararası rekabet gücü stratejisi olarak kümelenme: Yaş meyve sebze kümesi vaka analizi. *Pazarlama ve Pazarlama Araştırmaları Dergisi*, *8*(16), 71-86.

Newsjacking: A how to leverage the news to build your brand. https://medium.com/@finn.brussel/newsjacking-a-how-to-leverage-the-news-to-build-your-brand-3f73b2e525df, Erişim Tarihi: 12.09.2026

Nikitina, M. (2024). What is Newsjacking? https://www.bolderagency.com/journal/what-is newsjacking, Erişim Tarihi: 10.09.2026

Oliveria, T. (2023). Newsjacking: Examples and 3 mistakes to avoid. https://sherlockcomms.com/newsjacking-2/, Erişim Tarihi: 12.08.2026

Oxford Dictionaries (2026). Newsjacking. Erişim Tarihi: 12.09.2026

Özer Alper, D. (2025). Haber anlatılarına dayalı stratejik iletişim: newsjacking stratejisinin etkinliği ve örnek uygulamalar üzerinden bir değerlendirme. *Gümüşhane Üniversitesi İletişim Fakültesi Elektronik Dergisi*, *13*(1), 118-140.

Pachal, Z.M., Zarei, G., Seifollahi, N., & Kolour, H. R. (2024). Newsjacking based on bitter urban events: A study on Alibaba tourism brand. *Urban Tourism*, *11*(1), 117-133.

Pitek, H. (2026). What is newsjacking? The PR tactic that earns instant attention. https://www.calibercorporate.com/blog/what-is-newsjacking/, Erişim Tarihi: 12.09.2026

Santacaterina, D., Eerhart, D., Brown, J. C., Nelson, A., & Murphy, B. (2026). Mapping communication hijacking in the Asia-Pacific. *The Cyber Defense Review*, *11*(1), 163-192.

Scott, D. M. (2013). Oreo wins the Super Bowl Newsjacking game. https://www.davidmeermanscott.com/blog/2013/02/oreo-wins-the-super-bowl-newsjacking-game.html, Erişim Tarihi: 14.09.2026

Scott, D. M. (2011). *Newsjacking: How to inject your ideas into a breaking news story and generate tons of media coverage*. John Wiley & Sons.

Sorensen, I. (2013). Newsjacking the media: video ambushing and AV astroturfing. İçinde Howley, K. (ed.) Media Interventions. Peter Lang, pp. 89-108.

Stanton, T. (2023). Using newsjacking to support engagement. https://books.forbes.com/blog/newsjacking-engagement/

Weverbergh, R. (2019). Newsjacking: how to use the news to build your brand. https://www.finn.agency/newsjacking/, Erişim Tarihi: 14.09.2026

Whitten, S. (2019). Starbucks got an estimated $2.3 billion in free advertising from 'Game of Thrones' gaffe, and it wasn't even its coffee cup. https://www.cnbc.com/2019/05/07/starbucks-got-2point3-billion-in-free-advertising-from-game-of-thrones-gaffe.html, Erişim Tarihi: 12.10.2026

Zlatin, G. (2026). What is newsjacking?. https://www.digitalthirdcoast.com/blog/what-is-newsjacking, Erişim Tarihi: 10.09.2026

ÜNİVERSİTELERDE GÖNÜLLÜLÜK DERSLERİ NASIL VERİLİYOR?

Asst. Prof. Dr. İlknur KILINÇ
Kastamonu University, Faculty of Communication, Department of Journalism, 37150 Kuzeykent, Kastamonu
ORCID ID: 0000-0002-7322-406X
Prof. Dr. Burcu ÖKSÜZ KAYA
İzmir Kâtip Çelebi University, Faculty of Humanities and Social Sciences, Department of Media and Communication, Çiğli-İzmir
ORCID ID: 0000-0003-4195-9261

ÖZET
Türkiye'de üniversitelerde gönüllülük eğitimi teşvik edilmekte, bu konuda iş birlikleri yürütülmekte ve derslerin nasıl olması gerektiğine ilişkin çalışmalar kapsamlı olarak sürdürülmektedir. Bu bağlamda gönüllülüğün bir devlet politikası olarak kabul gördüğünü söylemek mümkündür. Üniversitelerimizde gönüllülük derslerinin sayısının ve öneminin gün geçtikçe arttığı ve farklı bölümlerde gönüllülük çalışmalarının müfredatlara dahil edildiği görülmektedir. Aynı zamanda üniversitelerde tüm öğrencilere hitap eden üniversite seçmeli havuz derslerine gönüllülüğün eklenmesi de dikkat çekmektedir. Derslerin başarısı, öğrenci istekliliği ve sivil toplum kuruluşlarıyla kurulan iş birliklerinden etkilenmektedir. Kuşkusuz gönüllülük derslerinin nasıl yapılandırıldığı ve dersi veren öğretim elemanının bilgi ve deneyimleri gibi faktörler belirleyici olmaktadır. Buradan hareketle çalışmanın amacı, üniversitelerde gönüllülük derslerinin nasıl verildiğine, güçlü ve zayıf taraflarının neler olduğuna ve derslerin daha etkin olmasına ilişkin bilimsel bir değerlendirme yapmak ve bir projeksiyon çizmektir. Çalışma kapsamında gönüllülük derslerinin içerikleri incelenecek, dersler nitel ve nicel içerik çözümlemesi tekniği ile analiz edilecektir. Böylece derslerin yapısına, öğrenme çıktılarına, ders içeriklerine, teori ve uygulama dengesine, ölçme-değerlendirme tekniklerine, ders materyallerine ve öğretim yöntemlerine ilişkin bir tablo ortaya konulacaktır. Çalışmanın gönüllülük derslerindeki mevcut durumun tespit edilmesi ve geleceğe yönelik öneriler sunulması anlamında katkı sağlayacağı düşünülmektedir.
Anahtar kelimeler: Gönüllülük, gönüllülük dersi, üniversite, sivil toplum

HOW ARE VOLUNTEERING COURSES TAUGHT AT UNIVERSITIES?

ABSTRACT
In Türkiye, volunteerism education in universities is being encouraged, collaborations in this area are being pursued, and comprehensive efforts are underway to determine how these courses should be structured. In this context, it is fair to say that volunteerism has gained recognition as a state policy. It is evident that the number and importance of volunteerism courses in universities are steadily increasing, and that volunteerism activities are being integrated into the curricula of various departments. Notably, volunteerism is also being added to the pool of elective courses available to all students across the university. The success of these courses is influenced by student enthusiasm and the collaborations established with civil society organizations. Undoubtedly, factors such as the course structure and the knowledge and experience of the lecturer play a decisive role. Accordingly, the aim of this study is to conduct a scientific assessment of how volunteerism courses are delivered in universities, identify their strengths and weaknesses, and outline future prospects for enhancing their effectiveness. The

study will examine the content of volunteerism courses, employing both qualitative and quantitative content analysis techniques. This approach will provide a comprehensive overview regarding course structures, learning outcomes, course content, the balance between theory and practice, assessment and evaluation methods, course materials, and teaching techniques. The study is expected to contribute by identifying the current state of volunteerism courses and offering recommendations for the future.
Keywords: Volunteerism, volunteerism course, university, civil society

1. GİRİŞ

İçinde bulunduğumuz çağda ekonomi, politika ve nüfus gibi alanlardaki zorlu durumlara karşılık kaynaklardan en verimli şekilde yararlanılması gereği, gönüllülük çalışmalarına verilen önemin artmasının yolunu açmıştır. Bugün gönüllülük kavramının ekonomi, sosyal hizmetler, sosyoloji, psikoloji, felsefe gibi pek çok alanda yeri güçlenmiştir (Açar ve Özcan, 2022, s. 1142). Bütün dünyada afetler yaygınlaştıkça gönüllülere olan ihtiyaç da artmıştır. Bu anlamda gönüllülük deprem, kasırga veya salgın gibi krizlerde ortaya çıkan zorluklarla mücadele etmek, iyileşme sürecini kolaylaştırmak ve toplumsal değişimler yaratmak açısından güçlü bir itici rol üstlenmektedir. Böylesi deneyimler, gönüllüler açısından da dönüştürücü bir nitelik taşıyabilmektedir (Gong vd., 2026). Gönüllülerin sunduğu yardım ve hizmetler genel olarak sürekli ve düzenli bir niteliğe sahip olmakta iken gönüllü kişiler; bireyleri ve toplulukları destekleyen hizmet ve programlardaki boşlukları doldurmaktadırlar (Snyder ve Omoto, 2008). Günümüzde gönüllülüğe ve gönüllü kişilere sağlıktan eğitime, iklim krizinden yangına kadar çok geniş bir yelpazede ihtiyaç duyulmaktadır. Halihazırda çok büyük afetlerle karşı karşıya olan dünya, gönüllüğe stratejik bir bakış açısıyla bakabilmeyi zorunlu hale getirmektedir.

Sürdürülebilir kalkınmada ve sosyal uyumda katalizör olan gönüllülük; kişilerin zaman, beceri, bilgi, maddi kaynak gibi değerlerinden sosyal yarar sağlayabilmeye yönelik karşılıksız olarak vermelerini kapsamaktadır (Altun ve Demirişler, 2023, s. 144). Dolayısıyla gönüllülük dediğimizde karşılık beklemeden yapılan bir davranıştan söz ederiz. Gönüllülük; başka bir kişiye, gruba veya bir amaca fayda sağlamak amacıyla zamanın gönüllü olarak ayrıldığı her türlü faaliyettir (Wilson, 2000, s. 215). Diğer bir tanımla gönüllülük "Bireylerin karşılık beklemeden, toplumun yararına hizmet etmek üzere zamanlarını, bilgi ve becerilerini sunmaları sürecidir." (Altun ve Demirişler, 2023, s. 143). Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) (2026) gönüllü çalışmayı "gönüllünün kendi hanesi veya ailesi dışındaki kişiler için mal üretmek ya da hizmet sunmak amacıyla, isteğe bağlı olarak ve ücret almaksızın gerçekleştirilen faaliyetler" olarak açıklamaktadır. Gönüllülük sürdürülebilir topluluklar, kırsal topluluklar, sağlık ve sosyal refah, ceza adaleti, eğitim, sosyal kapsama ve toplum karşıtı davranışlar alanlarındaki çeşitli devlet politikalarının hayata geçirilmesinde bir araç olarak da görülmektedir (Rochester, 2006). Yanı sıra gönüllülük "sosyal sermayenin artırılmasında ve sosyal kohezyonun sağlanmasında kritik bir role sahiptir." (Altun ve Demirişler, 2023, s. 143). Tanımlardan yola çıkarak gönüllülüğün açıklanmasında toplum yararı, sosyal sermayeden yararlanmak, karşılık beklememek, çeşitli alanlarda gerçekleştirilmek, isteğe bağlılık ve çıkar sağlamamak hususlarının ön plana çıktığı görülmektedir.

Gönüllülük hem gönüllü kişiler için hem de toplum için fayda sağlamaktadır. Gönüllülüğün değerini üç yönlü olarak açıklamak mümkündür. Gönüllülük, insanların yaşamlarını önemli ölçüde zenginleştirir, kurumsal misyonları güçlendirir ve daha geniş toplumsal hedefleri ileriye taşır (Luo ve Peng, 2026). Bazı gönüllülük çalışmaları; statükoyu değiştirmeye, toplumsal sorunlara yönelik sistemsel değişimlerle uzun vadeli çözümler üretmeye odaklanırken; diğerleri

sistemsel bir yaklaşımdan ziyade bireylere ve topluluklara doğrudan, acil ve somut yardımlar sağlamaya ağırlık verebilmektedir (Snyder ve Omoto, 2008). Dolayısıyla gönüllülük, toplum açısından büyük önem taşıyan ve yaygın bir ekonomik olgudur. Sosyal hizmetler, eğitim, sağlık hizmetleri ve gençlik çalışmalarıyla arama-kurtarma, kültürel faaliyetler, rekreasyon ve dini hizmetler gibi alanlarda hizmet sunulmaktadır (Hackl vd., 2012, s. 465). Gönüllülük tanımlarına baktığımızda gönüllülüğün gerçekleştirildiği bir örgütsel yapının gerekliliği konusunda tartışmaların olduğu dikkat çekmektedir. Bazı gönüllülük tanımlarında örgütsel yapı şartı korunmakla birlikte, kamu veya özel sektör bünyesinde yürütülen faaliyetler de kapsama dahil edilmektedir. Bazıları ise örgütsel yapı şartını esneterek ister bir komşuya yardım etmek gibi birebir düzeyde, isterse çöp toplamak gibi vatandaşlık bilinciyle yapılan ve tek başına gerçekleştirilen faaliyetler olsun resmi olmayan yollarla yürütülen gönüllülük çalışmalarını da kabul etmektedir (Smith, 1999). Bu anlamda gönüllülük tanımlarındaki ayrılıkların örgütsel yapı anlamında da kendini gösterdiğini söylemek mümkündür. Şöyle ki halihazırda gönüllüğün tanımı üzerinde bir uzlaşı bulunmamaktadır.

Başka bireylere, gruba, kuruma veya belirli bir amaca fayda sunmak amacıyla zamanı ya da maddi kaynakları gönüllü olarak sunmak, sıklıkla vatandaş katılımının bir göstergesi olarak kabul edilmektedir. Vatandaş katılımını güçlendirmeye yönelik çabalar; gönüllülüğün farklı biçimlerini açıklama konusunda hangi kaynakların yardımcı olduğu ve bu kaynakların insanların geçmişleri ve gündelik yaşamlarıyla nasıl ilişkilendiği sorularını gündeme getirmektedir (Henriksen vd., 2008, s. 193). Anheier ve Salamon (1999) geçmişte gönüllülüğün genellikle daha geniş sosyal ve kültürel bağlamdan ayrı olarak ele alındığını belirtmektedirler. Ancak gönüllülük belirli bir amaç için zaman ayırmaktan çok daha fazlasıdır; kültürel ve ekonomik bir olgu olarak toplumların örgütlenme biçiminin, sosyal sorumlulukların nasıl dağıtıldığının ve vatandaşlardan ne kadar katılım ve etkileşim beklendiğinin bir parçasıdır. Bu bağlamda devletin rolü ve devlet-toplum ilişkilerinin doğası, gönüllülüğün uluslararası alanda rolünü şekillendiren önemli unsurlardır. Gönüllüğün önemi arttıkça örgütlenme konusunda da ihtiyaç ön plana çıkmaktadır. Günümüzde küresel anlamda yaşanan olaylar gönüllülüğün daha stratejik ve sistemli şekilde ele alınması gerekliliğini ortaya koymaktadır. Gerek ulusal gerekse uluslararası düzeyde örgütlenmelerin varlığı, gönüllülüğün sürdürülebilirliği açısından kritik bir rolü yerine getirmektedir.

Gönüllülük açısından hayati kavramlardan birisi isteğe bağlı olmasıdır. Cnaan ve diğerlerine göre (1996) en katı tanımlar gönüllülük çalışmalarının tamamen gönüllü olması ve hiçbir zorlama içermemesi; herhangi bir ödülün veya kişisel çıkarın söz konusu olmaması; resmi bir kurum aracılığıyla gerçekleştirilmesi ve gönüllülerle yararlanıcılar arasında herhangi bir ilişki veya benzerlik bulunmaması özelliklerine vurgu yapmaktadır. Daha geniş kapsamlı tanımlarda ise belirli düzeyde zorlama içerenler (örneğin bir okul programı); sunulan hizmetlerin değerinin altında bir ücretlendirme içerenler; resmi kurumların dışında gerçekleştirilenler; benzer geçmişlere sahip kişileri içerenler ve hatta gönüllülerin aynı zamanda yararlanıcı olduğu durumlar kabul görmektedir.

Penner (2004, s. 646-647) gönüllülüğü tanımlayan ve diğer sosyal fayda odaklı davranış türlerinden ayıran dört önemli niteliği öne sürmektedir. İlk olarak gönüllülük *planlı bir eylemdir*, insanlar gönüllü olma kararı vermeden önce düşünür ve seçeneklerini değerlendirirler. İkincisi gönüllülük *uzun vadeli bir davranıştır*, gönüllü olan çoğu insan bu faaliyeti uzun bir süre boyunca sürdürür. Üçüncü olarak gönüllülük *zorunluluk içermeyen* bir yardım etme biçimidir. Gönüllüler ile yardımı alan kişiler arasında kişisel bağlar veya ilişkiler

nadiren bulunur. Dördüncüsü, gönüllülük *örgütsel bir bağlamda* gerçekleşir. Gönüllü olarak çalışan insanların büyük çoğunluğu bunu bir hizmet kuruluşu veya örgüt bünyesinde yapmaktadır. Smith (1999) ise gönüllülüğün beş temel unsurunun bulunduğundan söz eder. Birincisi, *ödül* kavramıdır. Bazı gönüllülük tanımları yalnızca tamamen özgeci davranışların gönüllülük olarak kabul edilmesi gerektiğini savunur. Diğerleri ise saf bir özgecilik diye bir şeyin söz konusu olmadığını, her türlü gönüllülük faaliyetinin bir değişim ve karşılıklılık unsuru barındırdığını ileri sürer. İkinci husus, *özgür irade* kavramıyla ilgilidir. Tanımların çoğu, gönüllülük ile zorlamanın birbiriyle bağdaşmadığını kabul eder. Üçüncü unsur, *faydanın niteliğiyle* ilgilidir. Gönüllülüğü, tamamen kişisel tercihe dayalı bir boş zaman etkinliğinden ayırt edebilmek için, gönüllü dışında (veya ek olarak) bir faydalanıcının varlığı gerekir. Dördüncü olarak, *örgütsel ortam* meselesi ele alınmalıdır. Bazı tanımlar, gönüllülüğün mutlaka resmi, kâr amacı gütmeyen veya gönüllülük esasına dayalı bir kuruluş bünyesinde gerçekleştirilmesi gerektiği üzerinde durur. Son unsur ise *bağlılık* düzeyidir. Bazı tanımlar tek seferlik gönüllülük faaliyetlerinin sürece dahil edilmesine izin verirken; diğerleri belirli bir düzeyde bağlılık talep eder ve ara sıra yapılan eylemleri kapsam dışında tutar.

Snyder ve Omoto (2008) gönüllülüğün özelliklerini şöyle sıralamaktadır:

- Gönüllülerin çalışmaları, gönüllülük esasına dayanmalıdır. Herhangi bir zorunluluk bağı veya baskı olmaksızın kişinin özgür iradesiyle gerçekleştirilmelidir.
- Başkalarına hizmet sunmak veya bir davayı desteklemek amacıyla gönüllü olma davranışı, belirli bir düzeyde düşünme veya karar verme sürecini içerir. Bu davranışlar, refleksif yardım eylemleri ya da acil durum yardımı niteliğinde değildir.
- Gönüllülük çalışmaları zamana yayılan bir süreçte gerçekleştirilmelidir. Bu noktada haftalar, aylar ve yıllar boyu süren yardım davranışları özellikle önem taşır.
- Gönüllü olma kararı tamamen kişinin kendi hedeflerine dayanır ve herhangi bir ödül ya da ceza beklentisi içermez.
- Gönüllülük, yardım talep eden insanlara veya davalara hizmet etmeyi içerir. Gönüllüler tarafından sunulan hizmetler dayatılmamalı, aksine hizmeti alanlar tarafından talep edilmeli veya kabul edilmelidir.
- Gönüllülük çalışmaları, insanlar veya davalar adına ve genellikle kurumlar aracılığıyla gerçekleştirilir.

Gönüllülük açısından diğer bir tartışmalı konu "faydalanıcı" üzerinedir. Bazı kişiler, faydalanıcının gönüllü için bir yabancı olması gerektiğini savunurken diğerleri komşuların, arkadaşların ya da geniş aile üyelerinin de bu kapsama dahil edilebileceğini ileri sürmektedir. Diğer yandan bir başka grup ise kişisel fayda ile üçüncü şahıs faydası arasındaki sınırın özellikle belirsizleştiği "kendine yardım" veya "karşılıklı yardımlaşma" kavramlarını da öne sürmektedir. Bu geniş kavramsal çerçeve; gönüllünün yakın ailesi veya arkadaşları dışında (veya ek olarak), tanımlanabilir bir faydalanıcının varlığını şart koşar (Smith, 1999). Gönüllülüğün zaman içerisinde pek çok açıdan değiştiği görülmektedir. Aşağıda yer alan Tablo 1'de kültür, örgüt seçimi, hareket alanı seçimi, faaliyet seçimi, bağlılığın süresi ve yoğunluğu, lehdar ile olan ilişki açısından gönüllülüğün yaşadığı değişim gösterilmiştir.

Tablo 1. Gönüllülüğün değişimi

	Klasik Gönüllülük	**Yeni Gönüllülük**
Kültür	• Geleneksel kültürel normlarla özdeşleşir	• Bireyselleştirme
Örgüt seçimi	• Geleneksel kültürel kimlikler • Yüksek sadakat • Devredilmiş liderlik • Sağlam yapı	• Kişisel çıkar • Zayıf bağlar • Merkeziyetçi olmayan yapı • Gevşek ağlar
Hareket alanı seçimi	• Geleneksel kültürel kimlikler • Kapsama ve dışlama	• Yeni biyografik benzerliklerin algılanması • Güncel konulara ilgi • Küresel ve yerel arasındaki diyalog
Faaliyet seçimi	• Geleneksel kültürel kimlikler • Kuruluşun ihtiyaçları • İdealizm	• Kişisel tercihler ve kuruluşun ihtiyaçları arasında denge • Maliyet/fayda analizi • Pragmatik
Bağlılığın süresi ve yoğunluğu	• Uzun vadeli (süresiz) • Düzenli • Koşulsuz	• Kısa vadeli (süresi açıkça sınırlı) • Düzensiz veya istikrarsız • Koşullar
Lehdar ile olan ilişki	• Tek taraflı, 'diğerkâm', 'özverili'	• Karşılıklı

Kaynak: Rochester, 2006, s.8.

Gençler gönüllülük çalışmalarının içinde aktif olarak görev alabilen hem de gönüllülük çalışmalarından faydalanıcı olan bir gruptur. Gönüllülük; gelişim, sağlık ve istihdam dahil olmak üzere, gençlere ilişkin pek çok sonuç üzerinde olumlu etkilere sahiptir (Gutierrez-Kapheim vd., 2026). Gençlerde sosyal açıdan bağlılığı arttırarak sosyal katılım ve sivil bağlılığın kurumsal hale gelmesinde kilit bir öneme sahip olan gönüllülük, gençlerin donanımını güçlendirerek geleceğe hazırlanmalarında anahtar bir rol üstlenmektedir (İlter, 2023, s. 94). Bu anlamda gençlerin gönüllülük çalışmaları içerisinde bulunması hem kendilerini geliştirmeleri hem de topluma fayda sağlayarak kendini gerçekleştirme amacının yerine getirilmesinde büyük bir rol üstlenmektedir. Şöyle ki bu çalışmalar aynı zamanda gençlerin başkalarıyla birlikte bir amacın gerçekleştirilmesinde rol alarak sosyalleşmelerine de katkı sağlamaktadır.

Üniversiteler gönüllülüğün yönlendirilmesinde önemli bir örgütsel yapı sunmaktadır. Günümüzde üniversitelerin rolü, geleneksel öğretim ve araştırma ikili misyonundan; toplumsal etkileşimi ve bilginin akademi dışına aktarılmasını önceleyen ve "Üçüncü Misyon" olarak adlandırılan daha geniş kapsamlı bir toplumsal işleve doğru evrilmiştir (Trusculescu vd., 2026). Ülkemizde gönüllülük dersleri üniversiteler tarafından teşvik edilmekte, gerek bölümlerde gerekse de rektörlük ortak havuzunda bu yönde dersler sunulmaktadır.

Gönüllülük ve gençler konusunda çeşitli araştırmalar yürütülmüştür. İlter (2023) tarafından Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi'nde "Gönüllülük Çalışmaları" dersini alan öğrencilere yönelik yapılan araştırmada dersin istenilen kazanımların sağlanmasında ve gönüllülüğe yönelik olumlu bakışın güçlendirilmesinde etkilerini bulunduğu tespit edilmiştir. Holdsworth (2010) öğrencilerin neden gönüllü oldukları ve katılımları aracılığıyla neyi başarmayı hedefledikleri konusunda yaptığı çalışmada, öğrencilerin gönüllülüğün mutlaka özgeçmişlerini geliştirmek veya hatta "iyilik yapmak" gibi stratejik bir hedefin parçası olmadığını ortaya koymaktadır. Gönüllülük ve gençler konusunda farklı araştırmalar yapılması gereği bulunmaktadır. Bu çalışma kapsamında da Türkiye'de gönüllülük derslerinin nasıl sunulduğuna

ilişkin bir çerçeve sunma gayesiyle hareket edilmiştir.

2. YÖNTEM

Bu çalışmada üniversitelerde havuz/ortak ders olarak verilen Gönüllülük derslerinin genel görünümünü ortaya koymaya yönelik bir araştırma yürütülmüştür. 2026 yılının Eylül ve Ekim aylarında Türkiye'deki tüm üniversitelerin havuz/ortak dersleri incelenmiş ve Gönüllülük dersleri araştırma kapsamına alınmıştır. Gönüllülük derslerinin izlencelerine yönelik içerik analizi yapılmış, belirli temalar dahilinde içerikler sınıflandırılmıştır. Fakültelere/bölümlere özgü dersler çalışma kapsamına alınmamıştır. Çalışmanın en büyük sınırlılığı, bazı derslerin izlencelerinin olmaması veya eksik olmasıdır. Ancak mevcut haliyle çalışmanın, Gönüllülük derslerinin durumunu ortaya koyması sebebiyle Gönüllülük eğitimine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çalışma kapsamında yapılan incelemede ortak ders olarak verilen 66 Gönüllülük dersi tespit edilmiştir. Dersler isim, dönem, dil, tip, kredi, AKTS, teori-uygulama dengesi, STK iş birliği, saha uygulaması, dersin nasıl işlendiği, haftalık izlencede öne çıkan temalar, ölçme-değerlendirme ve belge durumu başlıklarıyla analiz edilmiştir.

Tablo 2. Gönüllülük derslerinin görünümü 1

ID	Ders adı	Dönem / dil	Tip	Kredi	AKTS	Teori / uygulama
D1	Gönüllülük-Toplumsal Etki	Güz /Bahar /En	Zorunlu	3	3	2 +1
D2	Sivil Toplum ve Gönüllülük Çalışmaları	Güz/Bahar/TR	Seçmeli	2	3	2 +0
D3	Gönüllülük Çalışmaları	Güz/Bahar/TR	Seçmeli	3	5	3+0
D4	Gönüllülük Çalışmaları	Bahar/TR	Seçmeli	2	4	1+2
D5	Gönüllülük Çalışmaları	Bahar/TR	Seçmeli	2	3	2+0
D6	Gönüllülük Çalışmaları	Bahar/En/TR	Seçmeli	2	5	1+2
D7	Gönüllülük Çalışmaları	Güz/TR	Seçmeli		4	1+2
D8	Gönüllülük Çalışmaları	Bahar/TR	Seçmeli		4	1+2
D9	Gönüllülük Çalışmaları	Güz/TR	Seçmeli		4	2+0
D10	Gönüllülük Çalışmaları	Bahar/TR	Seçmeli		4	1+2
D11	Gönüllülük Çalışmaları	Bahar/Güz/TR	Seçmeli	3	4	1+0
D12	Gönüllülük	Bahar/TR	Seçmeli	3	4	3+0
D13	Gönüllülük Çalışmaları		Seçmeli	2	4	1+2
D14	Gönüllülük Çalışmaları		Seçmeli		4	1+2
D15	Sivil Toplum Kuruluşları ve Gönüllülük Çalışmaları		Seçmeli	2		2+0
D16	Gönüllülük Çalışmaları		Seçmeli	2	4	1+2
D17	Gönüllülük Çalışmaları		Seçmeli		3	2+0
D18	Gönüllülük Çalışmaları		Seçmeli	3	3	2+0
D19	Gönüllülük Çalışmaları		Seçmeli	2	3	

ID	Ders adı	Dönem / dil	Tip	Kredi	AKTS	Teori / uygulama
D20	Gönüllülük Çalışmaları		Seçmeli		4	1+2
D21	Gönüllülük Çalışmaları		Seçmeli	2	3	2+0
D22	Gönüllülük Çalışmaları		Seçmeli	4		1+2
D23	Gönüllülük Çalışmaları		Seçmeli	2	3	2+0
D24	Gönüllülük Çalışmaları		Seçmeli	2	3	2+0
D25	Gönüllülük Çalışmaları		Seçmeli		3	2+0
D26	Gönüllülük Çalışmaları		Seçmeli		4	1+2
D27	Gönüllülük Çalışmaları		Seçmeli	1	5	0+2
D28	Gönüllülük Çalışmaları	Güz/Bahar/EN	Seçmeli	2	4	2+0
D29	Gönüllülük Çalışmaları	Güz/Bahar/TR	Seçmeli		2	2+0
D30	Gönüllülük Çalışmaları	Güz/Bahar/TR	Seçmeli	2	4	1+2
D31	Gönüllülük Çalışmaları		Seçmeli	2	4	1+2
D32	Gönüllülük Çalışmaları	Güz/TR	Seçmeli	4		
D33	Gönüllülük Çalışmaları	Güz/EN	Seçmeli		5	2+2
D34	Gönüllülük Çalışmaları		Seçmeli	2	3	2+0
D35	Gönüllülük Çalışmaları	Bahar /TR	Seçmeli	2	4	1+2
D36	Gönüllülük Çalışmaları		Seçmeli	2	5	1+2
D37	Gönüllülük Çalışmaları	Bahar/TR	Seçmeli	2	3	2+0
D38	Gönüllülük ve Sosyal Sorumluluk		Seçmeli	2	3	2+0
D39	Gönüllülük Çalışmaları	Güz/Bahar/En	Seçmeli		6	3+0
D40	Gönüllülük Çalışmaları	Güz/Bahar/TR	Seçmeli	2	4	2+0
D41	Gönüllülük Çalışmaları	Güz/TR	Seçmeli	3	5	3+0
D42	Sivil Toplum ve Gönüllülük	Güz/TR/1	Seçmeli	1	1	1+0
D43	Gönüllülük Çalışmaları	TR	Seçmeli	2	4	2+0
D44	Gönüllülük Çalışmaları	TR	Seçmeli	2	4	1+2
D45	Gönüllülük Çalışmaları	TR	Seçmeli	3	4	2+2
D46	Gönüllülük Çalışmaları	TR	Seçmeli	2	4	1+0
D47	Gönüllülük Çalışmaları	TR	Seçmeli		5	2+1
D48	Gönüllülük Çalışmaları	TR	Seçmeli	2	2	2+0
D49	Gönüllülük Çalışmaları	TR	Seçmeli		2	2+0
D50	Gönüllülük Çalışmaları	TR	Seçmeli		4	1+2
D51	Gönüllülük Çalışmaları		Seçmeli			2+0
D52	Gönüllülük Çalışmaları		Seçmeli		4	2+0
D53	Gönüllülük Çalışmaları	TR	Seçmeli	2	3	2+0
D54	Gönüllülük Çalışmaları	TR	Seçmeli	2	3	1+2
D55	Gönüllülük Çalışmaları	TR	Seçmeli	2	4	1+2

ID	Ders adı	Dönem / dil	Tip	Kredi	AKTS	Teori / uygulama
D56	Gönüllülük Çalışmaları	TR	Seçmeli	2	2	1+1
D57	Gönüllülük Çalışmaları	TR	Seçmeli	3	3	3+0
D58	Gönüllülük Çalışmaları	TR	Seçmeli	2	2	2+0
D59	Gönüllülük Çalışmaları	TR	Seçmeli	2	3	1+2
D60	Gönüllülük Çalışmaları	Güz/Bahar/TR	Seçmeli			1+2
D61	Gönüllülük Çalışmaları		Seçmeli		3	2+0
D62	Gönüllülük Çalışmaları	Güz/TR	Seçmeli	3	3	2+0
D63	Toplumsal Duyarlılık Projeleri	Güz/Bahar/EN	Zorunlu	1		
D64	Gönüllülük Çalışmaları	TR	Seçmeli	2	3	1+1
D65	Gönüllülük Çalışmaları	TR	Seçmeli	2	4	1+2
D66	Gönüllülük Çalışmaları	TR	Seçmeli	2	2	2+0

Yukarıda yer alan Tablo 2'de görüldüğü üzere derslerin genel olarak Gönüllülük Çalışmaları adıyla verildiği saptanmıştır. Derslerin 6 tanesi İngilizce olarak verilmekte, kalan derslerin tamamı Türkçe'dir; 2'si zorunlu, kalan 64 ders ise seçmeli kategorisindedir. Kredi bilgisi bulunan derslerin büyük bir çoğunluğu 2 kredi, derslerin geneli de 3 veya 4 AKTS'dir. Derslerin teorik saatinin uygulamanın 2 katı olduğu görülmektedir.

Tablo 3. Gönüllülük derslerinin görünümü 2

ID	STK iş birliği	Saha uygulaması	Proje / rapor	Haftalık izlencede öne çıkan temalar	Ölçme-değerlendirme	Belge durumu
D1	var	var	Proje ve rapor	Gönüllülük, STK, etik, saha çalışması, raporlama	Proje-sunum	İzlence mevcut
D2	var	var	Proje ve rapor	Gönüllülük, Gönüllü yönetimi, saha çalışması, uygulama, STK uygulamaları	Vize-Proje-sunum	İzlence mevcut
D3	yok		-	-	-	-
D4	yok	var	Proje ve rapor	Temel gönüllülük alanları, gönüllü çalışmalarla ilgili proje geliştirme ve sahada gönüllü çalışmalara katılım; gönüllü çalışmalarda etik, ahlaki, dini, geleneksel değerler ve ilkeler; kamu kurumları, yerel yönetimler ve sivil toplum kuruluşlarında (STK) gönüllü çalışmalara katılım	Vize-proje-final	İzlence mevcut
D5	var	var	Proje, rapor ve sunum	Gönüllülük, temel gönüllülük alanları, proje geliştirme, saha çalışması,	Vize-proje sunumu-final	İzlence mevcut
D6	var	var	Proje, rapor	Gönüllülük, temel gönüllülük alanları, STK çalışmaları, proje	Vize-proje sunumu	İzlence mevcut

			ve sunum	geliştirme, saha çalışması		
D7	var	var	Proje	Gönüllülük, temel gönüllülük alanları, proje geliştirme, saha çalışması	-	İzlence mevcut
D8	-	-	-	-		-
D9	-	-	-	-	-	-
D10	-	-	-	-	-	-
D11	var	var	Proje, STK çalışması	Gönüllülük, temel gönüllülük alanları, STK çalışmaları proje geliştirme, saha çalışması.	Uygulama alan çalışması	İzlence mevcut
D12	var	var	Proje, STK çalışması	Gönüllülük, temel gönüllülük alanları, STK çalışmaları proje geliştirme, saha çalışması.	Vize-final-proje-sunum	İzlence mevcut
D13	var	var	Proje, STK çalışması	Gönüllülük, temel gönüllülük alanları, STK çalışmaları proje geliştirme, saha çalışması, gönüllülük örnekleri	Vize-final-sunum-uygulama	
D14	yok	var	Proje	Gönüllülük çalışmaları, gönüllülük alanları, proje geliştirme	Ödev-proje	İzlence mevcut
D15	-	-	-	-	-	-
D16	-	-	-	-	-	-
D17	-	-	-	-	-	-
D18	yok	var	Sunum ve seminer	Afet ve acil durum, çevre, yerel yönetimler ve STK'larda alanlarında gönüllülük çalışmaları	Vize-final-sunum	İzlence mevcut
D19	var	var	Proje, rapor	Gönüllülük proje çalışmaları	Proje başvuru-proje sonuç raporu	İzlence mevcut
D20	var	var	Proje, rapor, STK çalışması	Temel gönüllülük alanları, iletişim, liderlik, kamu, yerel, STK'lara gönüllü katılım	Vize-final-proje	İzlence mevcut
D21	var	var	Proje ve rapor	Temel gönüllülük alanları, kamu, yerel ve STK'lara gönüllü katılım	Ödev-proje	İzlence mevcut
D22	-	-	-	-	-	-
D23	var	var	Proje ve rapor	Temel gönüllülük alanları, kamu, yerel, STK'lara gönüllü katılım, saha çalışması	Vize-final	İzlence mevcut
D24	yok	var	Proje ve rapor	Topluma hizmet uygulamaları, sosyal sorumluluk projeleri		İzlence mevcut

D25	-	-	-	-	-	
D26	var	var	Proje ve rapor	Temel gönüllülük alanları, iletişim, liderlik, kamu, yerel, STK'lara gönüllü katılım	Sonuç raporu-sunum	İzlence mevcut
D27	yok	var	Proje ve rapor	Toplumsal sorumluluk projeleri; proje konusu belirleme, proje uygulama	Vize-final	İzlence mevcut
D28	var	var	-	Gönüllülük, etkili iletişim yöntemleri, gönüllülük projesi geliştirme, kamu, yerel ve STK'larda projelere katılım	Vize-final	İzlence mevcut
D29	var	var	Proje ve rapor	Gönüllülük, etkili iletişim yöntemleri, gönüllülük projesi geliştirme, kamu ve yerel kurumlarda, STK'larda projelere katılım, göçmenler ve gönüllülük	Vize	İzlence mevcut
D30	var	var	Proje ve sunum	Temel gönüllülük alanları, gönüllülük çalışmaları, kamu, yerel, STK'lara gönüllü katılım, saha çalışması, göçmenler ve gönüllülük	Vize-final-sunum	İzlence mevcut
D31	-	-	-	-	-	-
D32	yok	var	Proje ve sunum	Gönüllülük, STK, ekip çalışması, dezavantajlı gruplarla çalışma, saha deneyimi, ekip çalışması, proje uygulanması	Vize	İzlence mevcut
D33	-	-	-	-	-	-
D34	yok	yok	-	Gönüllülük faaliyetlerinde özgünlük, gönüllülük faaliyetlerinde kaynak kullanımı, gönüllülük faaliyetlerinde iletişim, afet yönetimi, dezavantajlı gruplar	Vize-final	İzlence mevcut
D35	yok	yok	-	Üniversite etkinliklerine katılım	Vize-final	İzlence mevcut
D36	-	-	-	-	-	-
D37	yok	var	Proje ve rapor	Gönüllülük, gönüllü yönetimi, Türkiye'de gönüllülük, AB ve BM proje çalışmaları, öğrenci projeleri	Vize-final-proje	İzlence mevcut
D38	yok	var	Proje	Sosyal sorumluluk ve gönüllülük, STK'lar, kamu kurumları, afet, çevre, eğitim alanlarında gönüllülük	Vize-final	İzlence mevcut
D39	yok	var	-	-		İzlence mevcut
D40	yok	var	Proje	Gönüllülük ve sosyal hizmet, gönüllüğün kazanımları, gönüllülükte etik ve sorumluluk, STK'larda gönüllülük	Vize-final-ödev proje	İzlence mevcut
D41	yok	var	Proje	-	Vize-proje	İzlence mevcut
D42	yok	var	Proje	Sivil toplum ve gönüllülük deneyimleri, gönüllülük projeleri	Vize-final	İzlence mevcut

D43	var	var	Proje	Dünyada gönüllülük, sosyal proje örnekleri, STK ve gönüllülük	Vize-final-proje	İzlence mevcut
D44	yok	var	Proje	Gönüllülük çalışmaları ve kapsamı, Türkiye ve dünyada gönüllülük çalışmaları, STK ve işlevleri, STK'larda gerçekleştirilen gönüllülük çalışmaları, özel sektör kuruluşlarında gönüllülük çalışmaları, kamu kurumlarında gönüllülük çalışmaları	Proje	İzlence mevcut
D45	var	var	Proje ve rapor	Gönüllülük çalışmaları ve kapsamı, gönüllü yönetimi, Türkiye ve dünyada gönüllülük çalışmaları, STK, STK'larda gerçekleştirilen gönüllülük çalışmaları, özel sektör ve kamu kuruluşlarında gönüllülük çalışmaları		İzlence mevcut
D46	var	var	Proje ve rapor		Vize-final-ödev	İzlence mevcut
D47	yok	var	Proje ve rapor	Gönüllü yönetimi, kurumsal gönüllülük, STK	Proje-final	İzlence mevcut
D48	var	var	-	Gönüllülük ve STK	Vize-final	İzlence mevcut
D49	yok	var	Proje ve rapor		Proje	İzlence mevcut
D50	-	-	-	-	-	-
D51	var	var	Proje		Vize-final-ödev	İzlence mevcut
D52	-	-	-	-	-	-
D53	var	var	Proje ve rapor		Vize-final-sunum	İzlence mevcut
D54	var	var	Proje	Gönüllülük çalışmaları, sürdürülebilir çevre, atık yönetimi, gönüllülük bilinci, gönüllü yönetimi	Vize-final	İzlence mevcut
D55	var	var	Proje	Gönüllülük ve STK, gönüllü yönetimi, temel gönüllülük alanları, saha çalışması	Proje	İzlence mevcut
D56	var	var	Proje ve rapor		Vize	İzlence mevcut
D57	var	var	Proje		Proje-final	İzlence mevcut
D58	-	-	-	-	-	-
D59	var	var	Proje ve rapor		Sunum-vize-final	İzlence mevcut

D60	-	var	-	-	-	-
D61	yok	yok			Vize-final	İzlence mevcut
D62	var	var	Proje		Vize-final-uygulama-sunum	İzlence mevcut
D63	var	var	Proje	Öğrenci ilgi alanı doğrultusunda proje seçer uygular	Uygulama	İzlence mevcut
D64	yok	yok	-		Vize-final	İzlence mevcut
D65	var	var	Proje ve sunum		Vize-final	İzlence mevcut
D66	yok	var	Proje		Vize-final	İzlence mevcut

Yukarıda yer alan Tablo 3'te görüldüğü üzere sivil toplum kuruluşlarıyla iş birliği yapılmakta olduğu belirtilen 30 ders bulunmakta, 47 derste ise saha uygulaması yapıldığı ifade edilmektedir. Derslerin genellikle proje odaklı olarak işlendiği görülürken, öğrencilerin başarısının ölçülmesinde/değerlendirilmesinde uygulama çalışmalarının ön planda tutulduğu dikkat çekmektedir. İzlencede öne çıkan temaların gönüllülük kavramı; gönüllülük çalışmaları ve kapsamı; temel gönüllülük alanları; STK çalışmaları; afet ve acil durum; çevre, yerel yönetimler ve STK'larda gönüllülük çalışmaları; gönüllü çalışmalarla ilgili proje geliştirme ve sahada gönüllü çalışmalara katılım; gönüllü çalışmalarda etik, ahlaki, dini, geleneksel değerler ve ilkeler; kamu kurumları, yerel yönetimler ve sivil toplum kuruluşlarında gönüllü çalışmalara katılım; Türkiye ve dünyada gönüllülük çalışmaları; sivil toplum kuruluşları ve işlevleri; sivil toplum kuruluşlarında gerçekleştirilen gönüllülük çalışmaları; özel sektör kuruluşlarında gönüllülük çalışmaları; kamu kurumlarında gönüllülük çalışmaları; saha çalışması ve gönüllülük örnekleri üzerine olduğu tespit edilmiştir.

4. SONUÇ

Türkiye'deki üniversitelerin ortak seçmeli ders havuzlarında yer alan gönüllülük derslerinin incelendiği bu araştırmada derslerin yapısal özellikleri, içerikleri, sivil toplum kuruluşlarıyla iş birliği, saha uygulamaları ve ölçme-değerlendirme yöntemleri bakımından farklı düzenlemelere sahip olduğu belirlenmiştir. İncelenen 66 ders, gönüllülük derslerinin üniversitelerde benzer kavramsal içerikler etrafında yapılandırıldığını, ancak bu içeriklerin uygulamaya aktarılma biçimlerinin ve değerlendirme yöntemlerinin farklılaştığını göstermektedir.

Araştırmada 60 dersin "Gönüllülük Çalışmaları" adıyla verildiği, bunun yanında "Sivil Toplum Kuruluşları ve Gönüllülük Çalışmaları", "Gönüllülük ve Sosyal Sorumluluk", "Gönüllülük-Toplumsal Etki" ve "Toplumsal Duyarlılık Projeleri" gibi farklı ders adlarının da kullanıldığı görülmüştür. Derslerin yapısal özellikleri değerlendirildiğinde kredi, AKTS ve haftalık teori-uygulama saatleri bakımından farklı düzenlemelerin bulunduğu belirlenmiştir. Derslerin ağırlıklı olarak 3 ve 4 AKTS olduğu, bazı derslerde uygulama olurken bazılarının sadece teorik olduğu saptanmıştır. Bu durum, gönüllülük derslerinde teorik ve uygulama dengesinin üniversiteler arasında çok farklı olduğunu göstermektedir. Öte yandan haftalık uygulama saati bulunmayan bazı derslerin izlencelerinde saha çalışması ve proje faaliyetlerinin yapıldığı

görülmektedir. Dolayısıyla uygulama yapılsa bile izlenceye yansıtılmadığı dikkat çekmektedir. Bu durum izlencelerin revize edilmesi gerektiği konusunda bir zorunluluğa işaret etmektedir.

Araştırmanın öne çıkan bulgularından biri, incelenen 66 dersin 47'sinde saha uygulamasına yer verilmesidir. Gönüllülük derslerinin yalnızca teorik bilgi aktarımıyla sınırlı kalmaması, öğrencilerin gönüllülük faaliyetlerine katılımını teşvik etmesi önemlidir. Sivil toplum kuruluşlarıyla iş birliği değerlendirildiğinde ise 30 ders izlencesinde STK'lar ile iş birliği yapıldığı görülmektedir. Gönüllülük derslerinde proje geliştirme ve raporlama faaliyetlerinin bulunması da araştırmanın diğer bulguları arasındadır. Ölçme ve değerlendirme yöntemleri incelendiğinde vize ve final sınavlarının yanı sıra proje, sunum, ödev, rapor ve uygulama yöntemlerine yer verildiği görülmektedir.

Haftalık izlencelerde yer alan konular, gönüllülük eğitiminin kavramsal temellerinin yanı sıra farklı gönüllülük uygulamalarını da kapsamaktadır. Gönüllülük kavramı, gönüllü yönetimi, sivil toplum kuruluşları, proje geliştirme, etik ilkeler, afet yönetimi, çevre, göçmenler ve dezavantajlı gruplar gibi konuların ders içeriklerinde bulunması, gönüllülüğün geniş kapsamlı olarak ele alındığına işaret etmektedir.

Gönüllülük derslerinin farklı konuları içine alan geniş bir yelpazede yapılandırıldığı görülmektedir. İki üniversitede ortak Gönüllülük dersi zorunlu olarak sunulmaktadır. Aynı zamanda derslerde STK'lar ile iş birliği, saha çalışması ve projeler ile teorik konuların desteklendiği görülmektedir. Ancak izlencelerde dikkat çeken bir konu, teorik ders saatinin uygulamadan fazla olmasıdır. Gönüllülük gibi öğrencilerin sahada olmasını gerektiren bir alanda uygulama ders saatinin artırılmasının gençlerin aktif katılımı açısından önemli olduğu söylenebilir. Diğer yandan ders izlencelerinde bazı başlıkların eksik olmasının, öğrencilerin derse katılımının teşvik edilmesinde bir engel olabileceği düşünülmektedir.

Bu çalışmada üniversitelerdeki ortak Gönüllülük derslerinin görünümü ortaya koyulmuştur. Gelecek çalışmalarda Gönüllülük dersi alan öğrencilerin ve öğretim üyelerinin görüşleri alınabilir ve karşılaştırmalar yapılabilir.

KAYNAKÇA

Açar, E., & Özcan, N. (2022). Gönüllülük motivasyonları ile sosyal girişimcilik eğilimleri arasındaki ilişkinin incelenmesi: Kanonik korelasyon analizi. *Toplum ve Sosyal Hizmet, 33*(4), 1141-1160.

Altun, F., & Demirişler, P. (2023). Kadın derneklerinde gönüllü faaliyetlerde bulunan kadınların gönüllülük motivasyonları ve deneyimleri üzerine bir değerlendirme. *Sosyal Çalışma Dergisi*, *7*(2), 142-166.

Anheier, H. K., & Salamon, L. M. (1999). Volunteering in cross-national perspective: Initial comparisons. *Law and Contemp. Probs.*, *62*, 43.

Cnaan, R. A., Handy, F., & Wadsworth, M. (1996). Defining who is a volunteer: Conceptual and empirical considerations. *Nonprofit and Voluntary Sector Quarterly*, *25*(3), 364-383.

Holdsworth, C. (2010). Why volunteer? Understanding motivations for student volunteering. *British Journal of Educational Studies*, *58*(4), 421-437.

Volunteering and Social Development A Background Paper for Discussion at an Expert Group Meeting New York, November 29-30, 1999

Hackl, F., Halla, M., & Pruckner, G. J. (2012). Volunteering and the state. *Public Choice*, *151*(3), 465-495.

Henriksen, L. S., Koch-Nielsen, I., & Rosdahl, D. (2008). Formal and informal volunteering in a Nordic context: The case of Denmark. *Journal of civil society*, *4*(3), 193-209.
Gong, Q., Liu, D., Chen, Y., & Lee, C. (2026). Learning from crisis: how crisis volunteering fosters resilience and change-oriented behaviors. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, *192*, 104466.
Gutierrez-Kapheim, M., Krogen, M., Lies, M., Lanza, K., & Benjamins, M. (2026). Youth volunteering and academic outcomes in a nationally representative US sample. *Children and Youth Services Review*, 109069.
İlter, E. (2023). Gönüllülük çalışmaları dersine yönelik öğrenci görüşlerinin kazanım boyutunda değerlendirilmesi: Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi. *Erzincan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, *16*(1), 91-109.
Luo, Z., & Peng, X. (2026). What drives university students' sustained participation in volunteering? A thematic analysis from the ecological systems theory (EST) perspective. *Behavioral Sciences*, *16*(3), 471.
Penner, L. A. (2004). Volunteerism and social problems: Making things better or worse?. *Journal of Social Issues*, *60*(3), 645-666.
Rochester, C. (2006). Making sense of volunteering A literature review. https://africanphilanthropy.issuelab.org/resources/20073/20073.pdf
Smith, J.D. (1999). Volunteering and social development a background. Paper for Discussion at an Expert Group Meeting New York, November 29-30.
Snyder, M., & Omoto, A. M. (2008). Volunteerism: Social issues perspectives and social policy implications. *Social Issues and Policy Review*, *2*(1), 1-36.
The International Labour Organisation (ILO) (2026). https://www.ilo.org/resource/volunteer-work
Trusculescu, L.-M., Popovici, R. A., Enache, A., Noditi-Cuc, A. R., Feher, A., Pitic, D. E., Enasoni, S., Corodan-Comiati, D.-M., & Kis, A. M. (2026). University medical programs with community impact: Students' perceptions and motivations toward sustainable volunteering. *Societies*, *16*(3), 101. https://doi.org/10.3390/soc16030101
Wilson, J. (2000). Volunteering. *Annual Review of Sociology*, *26*(1), 215-240.

ÇINARCIK BARAJINDA ASILI SEDİMENT TAŞINIMI VE DERECELENDİRME EĞRİSİ ANALİZİ

Dr. Murat CAN
DSİ 1. Bölge Müdürlüğü, Bursa
ORCID ID: 0000-0002-1693-5877

ÖZET
Baraj haznelerinin depolama hacmini ve ekonomik ömrünü doğrudan etkileyen asılı sediment taşınımı, havza yönetimi ve hidro-teknik mühendislik tasarımlarında kritik bir parametredir. Bu çalışmada, Bursa İli sınırları içerisinde yer alan Çınarcık Barajı membaındaki hidrometrik istasyonda elde edilen akım debisi (Q, m^3/s), asılı sediment konsantrasyonu (C, mg/L), su sıcaklığı (T, °C) ve günlük asılı sediment yükü (Q_s, ton/gün) parametreleri arasındaki hidro-sedimentolojik ilişkiler ayrıntılı olarak incelenmiştir. Akım ve sediment verileri arasındaki doğrusal ve logaritmik korelasyon analizleri gerçekleştirilmiş; log-dönüştürülmüş lineer regresyon yöntemi kullanılarak güç yasası tabanlı Sediment Derecelendirme Eğrisi ($Q_s = aQ^b$) türetilmiştir. Dönüştürme sürecindeki istatistiksel yanlılığı gidermek amacıyla Ferguson varyans düzeltme faktörü (CF) uygulanmıştır. Analiz sonuçları, debi ile asılı sediment yükü arasında güçlü bir pozitif korelasyon olduğunu ($R^2 = 0,513$; $R = 0,716$), su sıcaklığının ise mevsimsel erimeler ve biyokimyasal rejimle ilişkili olarak mevsimsel sediment dinamiği üzerinde ikincil derecede düzenleyici bir rol oynadığını göstermiştir. Elde edilen sediment anahtar eğrisi ($Qs = 2.112 \cdot Q^{0.925}$), baraj haznesine girecek yıllık sediment hacminin kestiriminde ve havza ölçekli erozyon kontrol stratejilerinin geliştirilmesinde yüksek güvenirlikli bir altlık sunmaktadır.
Anahtar kelimeler: Çınarcık Barajı, Asılı Sediment Yükü, Sediment Derecelendirme Eğrisi, Akım Debisi, Korelasyon Analizi, Bursa

SUSPENDED SEDIMENT TRANSPORT AND RATING CURVE ANALYSIS IN THE ÇINARCIK DAM RESERVOIR

ABSTRACT
Suspended sediment transport, which directly affects the storage volume and economic lifespan of dam reservoirs, is a critical parameter in watershed management and hydro-technical engineering design. In this study, hydro-sedimentological relationships among streamflow discharge (Q, m^3/s), suspended sediment concentration (C, mg/L), water temperature (T, °C), and daily suspended sediment load (Q_s, ton/gün) were examined in detail using data obtained from a hydrometric station upstream of the Çınarcık Dam located in Bursa Province. Linear and logarithmic correlation analyses were performed between streamflow and sediment data. A power law-based Sediment Rating Curve ($Q_s = aQ^b$) was derived using log-transformed linear regression. To eliminate statistical bias during the transformation process, the Ferguson variance correction factor (CF) was applied. The analysis results indicated a strong positive correlation between stream discharge and suspended sediment load ($R^2 = 0,513$; $R = 0,716$), while water temperature plays a secondary regulatory role in seasonal sediment dynamics associated with seasonal snowmelt and biochemical regimes. The obtained sediment rating curve ($Q_s = 2.112 \cdot Q^{0.925}$) provides a highly reliable baseline for predicting the annual volume of sediment entering the reservoir and for developing watershed-scale erosion control strategies.
Keywords: Çınarcık Dam, Suspended Sediment Load, Sediment Rating Curve, Streamflow

Discharge, Correlation Analysis, Bursa

1. INTRODUCTION

Sediment transport in rivers occurs as a complex function of the watershed's geological structure, climatic characteristics, vegetation cover, topographic slope, and human activities. The total mass of solid material transported by rivers consists of two main components: bed load and suspended sediment load. In most river systems, suspended sediment load constitutes the vast majority (80% ~ 95%) of the total sediment transport (Horowitz 2003). These suspended particles are carried within the water body without settling due to the turbulent energy of the stream; upon reaching dam reservoirs, reduced flow velocity causes them to settle, filling the storage volume.

Sediment transport is of vital importance for hydraulic structures, particularly dams and weirs. Solid materials entering reservoir basins rapidly fill the dead storage volume, thereby shortening the economic lifespan of the dam, causing abrasion in electromechanical components such as turbines and gates, and negatively impacting water quality (Walling 1977). Therefore, continuous or periodic streamflow and sediment observations conducted at hydrometric stations located immediately upstream of dam sites are essential for accurately predicting reservoir sedimentation risks.

However, in contrast to the continuity of streamflow discharge measurements, suspended sediment concentration measurements are generally conducted discretely or at less frequent intervals due to the difficulties associated with field sampling and laboratory analyses. To overcome this limitation, 'Sediment Rating Curves' (SRC) are widely utilized in hydrology (Crawford 1991). These empirical relationships model the power-law relation between stream discharge and sediment load, enabling the estimation of continuous sediment loads from continuous discharge data.

The objective of this study is to analyze streamflow, suspended sediment concentration, water temperature, and sediment load data obtained from the upstream monitoring station of the Çınarcık Dam—a facility of strategic importance for the water potential and energy production of Bursa Province—to determine correlations among parameters, and to develop the most appropriate sediment rating curve model for the study area.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Study area

The Çınarcık Dam is located in Bursa Province within the South Marmara section of the Marmara Region in northwestern Turkey. The dam is situated on the Mustafakemalpaşa (Orhaneli/Emet) Stream basin and serves as a multipurpose hydraulic structure designed for municipal and industrial water supply, flood protection, and hydroelectric power generation.

The hydrometric observation station under investigation is situated directly upstream of the Çınarcık Dam reservoir basin and directly represents the water and sediment inflows draining from the watershed into the reservoir. The watershed's topography comprises rugged and steep terrain, while its geological formations consist of flysch, limestone, and unstable cover layers that are highly susceptible to weathering. This geological setting promotes surface erosion across the watershed and enhances sediment transport in river channels during heavy rainfall events.

2.2. Dataset and parameter definitions

This study evaluated 69 simultaneous field measurement datasets collected between 2011 and 2018 at the hydrometric station upstream of Çınarcık Dam. The primary parameters included

in the dataset are:

- Streamflow Discharge (Q, m^3/s): Instantaneous/daily river discharge measured at the hydrometric cross-section.
- Suspended Sediment Concentration (C, mg/L): Solid matter concentration determined in the laboratory via filtration and drying methods.
- Water Temperature (T, °C): In-situ river water temperature measured during sample collection.
- Daily Suspended Sediment Load (Q_s, ton/day): Mass-based solid load calculated as the product of discharge and concentration.

The daily suspended sediment load (Q_s) was computed using the standard hydrological equation:

$$Q_s = 0.0864 \cdot Q \cdot C \quad (1)$$

where Q_s is the daily suspended sediment transport rate (ton/day), Q is the stream discharge (m^3/s), C is the suspended sediment concentration (mg/L or g/m^3), and 0.0864 is a unit conversion factor.

2.3. Statistical and correlation analyses

To identify bivariate linear and non-linear relationships among parameters, Pearson's linear correlation coefficient (r) and Spearman's rank correlation coefficient were calculated. Pearson correlation reflects parametric distribution relationships, whereas Spearman correlation provides a robust rank-based relationship resilient to outliers.

2.4. Sediment Rating Curve (SRC) and Bias Correction

The power-law equation widely applied in sediment transport modeling is expressed as (Asselman 2000):

$$Q_s = a \cdot Q^b \quad (2)$$

where coefficient 'a' represents the watershed's erosion susceptibility and the ease of transport of bed/bank material, while exponent 'b' represents the hydrological responsiveness and erosive power at high flows. To estimate model coefficients using Ordinary Least Squares (OLS) regression, the equation is linearized using $\log_{10}$ transformation:

$$\log_{10}(Q_s) = \log_{10}(a) + b \cdot \log_{10}(Q) \quad (3)$$

When predictions from log-transformed regression models are back-transformed to the original scale, a systematic underestimation (transformation bias) occurs in mean values. To correct this bias, the variance correction factor (CF) developed by Ferguson (1987) was applied:

$$CF = \exp((s^2 \cdot (\ln 10)^2) / 2) \quad (4)$$

where s^2 is the mean squared error (MSE) of the log-regression model. The adjusted coefficient is obtained as '$a_{adj} = CF \cdot a$', forming the final corrected sediment rating model.

3. RESULT AND DISCUSSION

3.1. Descriptive Statistics

A descriptive statistical summary of the 69 water and sediment samples collected at the Çınarcık Station between 2011 and 2018 is presented in Table 1.

Table 1. Descriptive Statistics of Hydro-Sedimentological Parameters at Çınarcık Station (N=69)

Parameter	Unit	Mean	Std. Dev.	Min	Max
Streamflow Discharge (Q)	m^3/s	0.641	0.723	0.051	2.829
Sediment Load (Q_s)	ton/day	1.39	2.88	0.01	19.42
Concentration (C)	mg/L	24.73	30.97	0.62	191.53
Water Temperature (T)	°C	11.2	5.3	-1.0	20.0
Clay + Silt Weight	g	0.0288	0.0304	0.0008	0.1700
Sand Weight	g	0.0038	0.0220	0.0000	0.1420

Examination of Table 1 shows that streamflow discharge varied over a wide range between 0.051 m^3/s and 2.829 m^3/s (mean 0.641 m^3/s). Suspended sediment concentration averaged 24.73 mg/L, reaching up to 191.53 mg/L during storm and flood events. Regarding particle size distribution, the average weight of clay and silt (0.0288 g) was significantly higher than that of sand (0.0038 g), demonstrating that the vast majority of sediment transported in the Çınarcık Dam watershed consists of fine-grained suspended matter.

3.2. Inter-Parameter Correlation Analyses

Bivariate relationships among hydrological parameters were calculated, and the Pearson and Spearman correlation matrices are presented in Table 2.

Table 2. Bivariate Pearson (and Spearman Rank in Parentheses) Correlation Matrix Among Parameters

Variable	Q	Q_s	C	T	Clay+Silt	Sand
Streamflow Discharge (Q)	1.000	0.539 (0.728)	0.010 (-0.124)	-0.435 (-0.629)	0.262	0.098
Sediment Load (Q_s)	0.539	1.000	0.630 (0.526)	-0.137 (-0.274)	0.693	0.675
Concentration (C)	0.010	0.630	1.000	0.239 (0.353)	0.869	0.762
Water Temperature (T)	-0.435	-0.137	0.239	1.000	0.083	0.029

Correlation analysis results indicate a strong positive relationship between Streamflow Discharge (Q) and Sediment Load (Q_s) according to Spearman rank correlation ($r = 0.728$, $p < 0.001$). Additionally, a negative correlation ($r = -0.629$) was detected between Water Temperature (T) and Streamflow Discharge (Q). This confirms that the highest stream discharges in the Çınarcık watershed occur during late winter and early spring snowmelt and cool-season precipitation events. The detailed time series plot of the discharge against sediment concentration is also given in Figure 1.

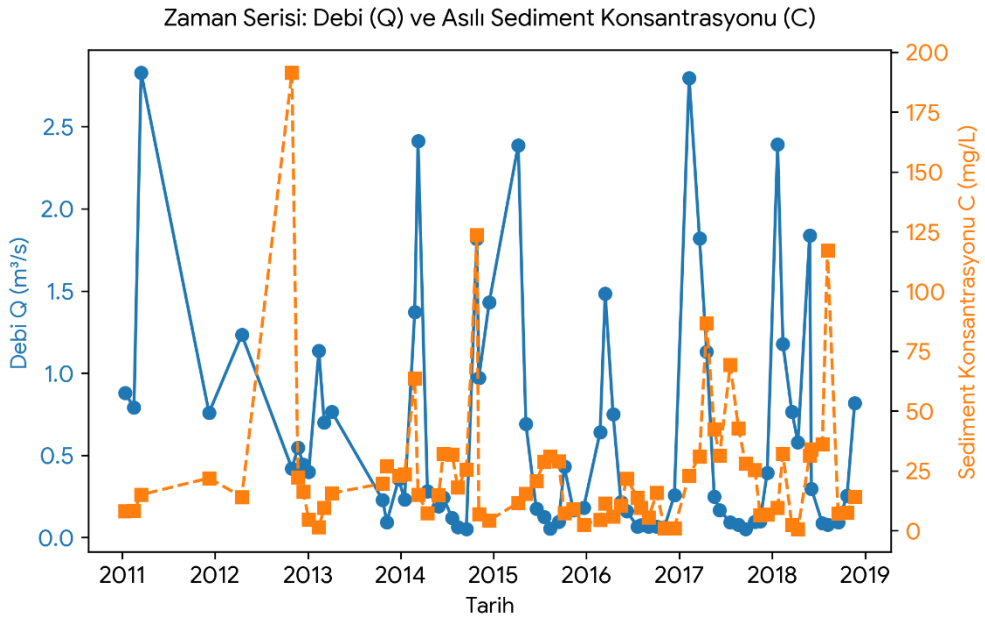


Figure 1. Çınarcık Station Discharge (Q) and Sediment Concentration (C) Time Series Variation

3.3. Sediment Rating Curve (SRC) and Model Evaluation

The results of the OLS sediment rating regression performed on log-transformed data are summarized below:

- Raw Power-Law Model: $Q_s = 1.1642 \cdot Q^{0.9250}$ ($R^2 = 0.5127$, $R = 0.7160$, $p < 0.001$)
- Ferguson Variance Correction Factor (CF): 1.8140
- Bias-Corrected Final SRC Model (Figure 2): $Q_s = 2.1118 \cdot Q^{0.9250}$

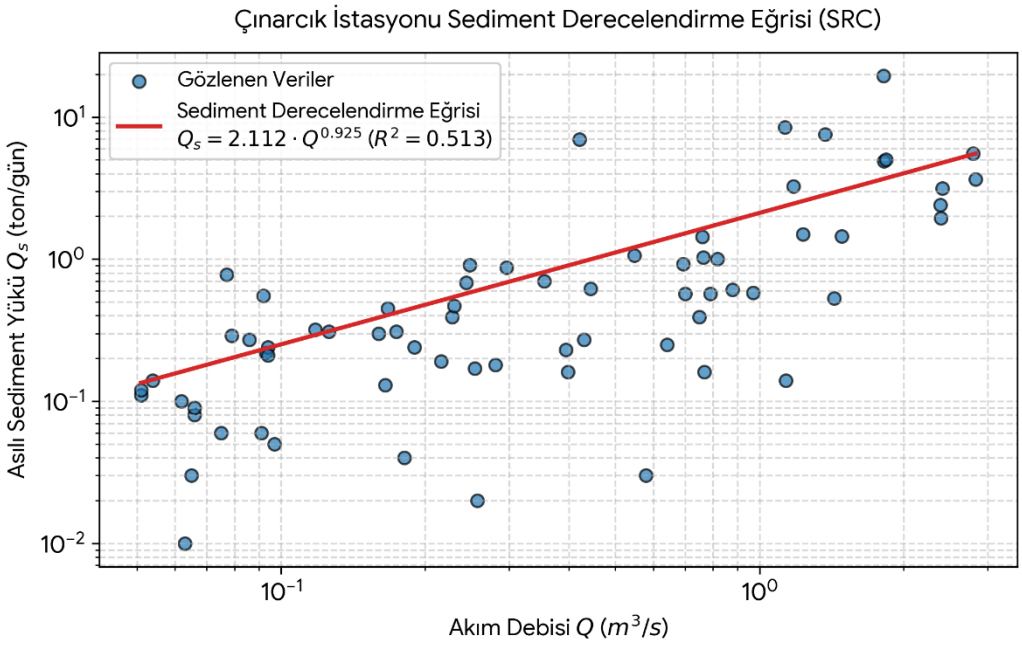


Figure 2. Çınarcık Station Corrected Sediment Rating Curve (SRC)

In the derived model, the exponent 'b' was found to be 0.925. Although this value is close to 1.0, it indicates that stream discharge and solid load increase nearly proportionally, suggesting that sediment transport in the watershed is driven by a continuous supply regime. The adjusted coefficient (a_{adj} = 2.112) provides a highly practical and reliable model for filling missing data gaps in future hydrological simulations.

4. CONCLUSIONS

In this study, stream discharge, water temperature, concentration, and sediment load data from a single hydrometric station upstream of Çınarcık Dam in Bursa were subjected to detailed hydro-sedimentological analyses. The primary conclusions and recommendations are as follows:

- *Streamflow Discharge – Sediment Load Relationship:* A strong and statistically highly significant ($p < 0.001$) relationship was established between stream discharge and daily suspended sediment load.
- *Sediment Grain Composition:* Laboratory analyses show that over 88% of transported solid material consists of fine-grained suspended matter such as clay and silt. This indicates that while sedimentation within the reservoir may occur gradually, it will lead to compacted sediment accumulation in the dead storage zone.
- *Model Reliability:* The equation '$Q_s = 2.112 \cdot Q^{0.925}$', derived using Ferguson variance bias correction, serves as a highly reliable tool for estimating the mean annual sediment volume entering the Çınarcık Dam reservoir.
- *Watershed Management Recommendations:* To preserve the economic lifespan of the dam, vegetation enhancement in upper watershed reaches, erosion control terracing, and the construction of sediment-retaining check dams along stream channels are strongly recommended.

REFERENCES

Asselman, NEM. (2000). Fitting and interpretation of sediment rating curves. Journal of Hydrology, 234(3-4), 228-248. https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00253-5

Crawford, CG. (1991). Estimation of suspended-sediment rating curves and mean suspended-sediment loads. Journal of Hydrology, 129(1-4), 331-348. https://doi.org/10.1016/0022-1694(91)90057-O

Ferguson, RI. (1987). Accuracy and precision of methods for estimating river loads. Earth Surface Processes and Landforms, 12(1), 95-104. https://doi.org/10.1002/esp.3290120111

Horowitz, AJ. (2003). An evaluation of total suspended solids (TSS) and turbidity as proxies for suspended sediment concentration (SSC). Water Research, 37(14), 3413-3420. https://doi.org/10.1016/S0043-1354(03)00220-4

Syvitski, JP., Morehead, MD., Bahr, DB., & Reis, KW. (2000). Estimating fluvial sediment transport: The rating curve in light of global data. Journal of Hydrology, 240(3-4), 273-303. https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00354-1

Walling, DE. (1977). Assessing the accuracy of suspended sediment rating curves for a small basin. Water Resources Research, 13(3), 531-538. https://doi.org/10.1029/WR013i003p00531.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

SYNTHESIS, SPECTROSCOPIC CHARACTERIZATION, and OPTICAL PROPERTIES of a NOVEL SCHIFF BASE LIGAND and ITS LANTHANUM(III) COMPLEX

Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Çelik
Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Department of Food Processing, Food Technology Program
ORCID ID: 0000-0003-1908 1704

ABSTRACT
A new lanthanum(III) coordination compound derived from a 1,2,3-triazole-containing Schiff base was synthesized and spectroscopically investigated. The ligand 3c was prepared through the condensation of the corresponding amino-functionalized 1,2,3-triazole derivative with an aromatic aldehyde, and its molecular structure was established using ^{1}H and ^{13}C NMR spectroscopy together with FT-IR analysis. The formation of the La(III) complex, denoted as 3c-La, was supported by characteristic changes in the vibrational bands of the ligand and the emergence of a new absorption in the low-wavenumber region. In particular, the azomethine ν(C=N) band exhibited a shift following complexation, indicating a change in the electronic environment of the Schiff-base moiety. The electronic absorption properties of 3c-La were examined by UV–Vis spectroscopy, while its photophysical behavior was investigated by photoluminescence measurements. The combined spectroscopic data provide insight into the structural and electronic changes induced by La(III) coordination and demonstrate the suitability of the 1,2,3-triazole-based Schiff-base framework for the development of lanthanide coordination systems with interesting photophysical characteristics.
Keywords: 1,2,3-Triazole; Schiff base; Lanthanum(III); Coordination compound; UV–Vis spectroscopy; Photoluminescence.

1. INTRODUCTION
Schiff bases, characterized by the presence of the azomethine (–C=N–) functional group, constitute an important class of ligands in coordination chemistry because of their facile synthesis, structural versatility, and ability to coordinate a wide range of metal ions [1–3]. They are commonly obtained through the condensation of primary amines with aldehydes or ketones, providing a convenient approach for the design of ligands with tunable donor properties and diverse coordination modes [1,2]. The incorporation of additional nitrogen- or oxygen-containing functional groups into Schiff-base frameworks can further increase their chelating ability and structural diversity. Consequently, Schiff-base metal complexes have attracted considerable attention in coordination chemistry, catalysis, biological chemistry, and functional materials [1–3].
Nitrogen-containing heterocycles, particularly 1,2,3-triazole derivatives, have also attracted considerable interest as ligand systems owing to their versatile coordination behavior, electronic properties, and ability to participate in diverse metal–ligand interactions [4,5]. The nitrogen atoms of the 1,2,3-triazole ring can provide coordination sites for metal ions, while the incorporation of additional donor groups into the triazole framework allows the construction of chelating and bridging ligand systems. In particular, 1,2,3-triazole-based ligands have been investigated in coordination and photophysical chemistry because their electronic characteristics can be tuned through appropriate substitution and metal coordination . The combination of a 1,2,3-triazole moiety with a Schiff-base framework is therefore an attractive

strategy for constructing multifunctional ligands containing both azomethine and [4,5]nitrogen donor sites.

Lanthanide(III) ions are attractive metal centers in coordination chemistry because of their large ionic radii, hard Lewis-acid character, flexible coordination environments, and ability to accommodate relatively high coordination numbers [6,7]. Unlike many transition-metal complexes, the bonding interactions between lanthanide(III) ions and donor atoms are predominantly ionic, and the coordination geometry is strongly influenced by the steric and electronic characteristics of the ligand, coordination number, counterions, and solvent molecules [6,7]. Schiff-base ligands containing nitrogen and oxygen donor atoms are therefore suitable candidates for lanthanide coordination because they can provide chelating coordination sites for these hard metal ions [1,6]. Depending on ligand architecture and reaction conditions, lanthanide complexes may exhibit diverse coordination geometries, nuclearities, and extended structural architectures [6,7].

The coordination chemistry of 1,2,3-triazole-containing ligands with lanthanide ions has been demonstrated in several studies. For example, Belay et al. reported a two-dimensional lanthanum coordination polymer based on a 1,2,3-triazole linker, which was synthesized using lanthanum nitrate hexahydrate and structurally characterized by single-crystal X-ray diffraction [8]. This study demonstrated the ability of 1,2,3-triazole-containing ligands to participate in the formation of extended La(III) coordination architectures. More broadly, lanthanide complexes containing azole-based ligands have been reported to exhibit diverse structural and optical properties, highlighting the importance of heterocyclic nitrogen donor systems in the design of lanthanide coordination compounds [5].

Among the lanthanide ions, lanthanum(III) is particularly interesting because of its relatively large ionic radius and flexible coordination behavior. La(III) possesses an empty 4f shell, distinguishing it electronically from lanthanide ions with partially occupied 4f orbitals. Consequently, optical responses observed for La(III) complexes are predominantly associated with the coordinated organic ligand and ligand-centered electronic transitions rather than characteristic La(III) 4f–4f transitions [6,7]. This feature makes La(III) complexes useful model systems for investigating how metal coordination modifies the electronic structure and excited-state behavior of organic ligands.

The photophysical properties of lanthanide coordination compounds depend strongly on ligand structure, coordination geometry, and the nature of the excited states involved [9,10]. In lanthanide–Schiff-base systems, the Schiff-base ligand can act as an absorbing chromophore and influence the excited-state processes of the resulting complex. For lanthanides that exhibit characteristic f–f emission, efficient ligand-to-metal energy transfer may lead to sensitized luminescence; however, the observed optical response depends on factors such as the energy of ligand-centered excited states, charge-transfer states, molecular aggregation, and coordination environment [9]. Recent studies have emphasized that ligand design and excited-state energy matching are important factors controlling energy-transfer pathways in lanthanide–Schiff-base complexes [9].

Importantly, a recent 2025 study specifically investigated the spectroscopic and photophysical properties of a hydrated La(III) complex containing a 1,2,3-triazole ligand using several DFT approaches [10]. The study combined experimental vibrational spectroscopy with theoretical calculations and evaluated photophysical properties in both the solid state and DMSO solution. A blue shift in the fluorescence of the complexes relative to the free ligand was observed, demonstrating that coordination to La(III) can influence the optical response of a triazole-containing ligand [10]. This recent finding is particularly relevant to the investigation of the relationship between La(III) coordination, ligand-centered electronic transitions, and

photoluminescence behavior in 1,2,3-triazole-based systems.

The combination of UV–Visible absorption and photoluminescence spectroscopy can therefore provide complementary information concerning the electronic and excited-state properties of Schiff-base coordination compounds. UV–Visible spectroscopy can be used to monitor ligand-centered electronic transitions and spectral changes associated with complex formation, whereas photoluminescence measurements provide information about the behavior of electronically excited states [9,10]. Moreover, solvent-dependent spectroscopic measurements can provide additional information because solvent polarity, hydrogen-bonding interactions, solvation effects, and molecular aggregation may influence both absorption and emission characteristics. Comparative investigation in different solvents can therefore contribute to a better understanding of the relationship between molecular structure, metal coordination, solvent environment, and optical behavior.

In the present study, a new 1,2,3-triazole-based Schiff-base ligand was synthesized through the condensation of 1-(4-chlorophenyl)-4-(2-aminoethyl)-1H-1,2,3-triazole with salicylaldehyde. Subsequently, the corresponding La(III) complex was prepared via coordination of the Schiff-base ligand with lanthanum(III) nitrate hexahydrate, $La(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$. The synthesized ligand was comprehensively characterized using FT-IR, ^1H NMR, ^13C NMR, and mass spectrometry, whereas the La(III) complex was characterized by FT-IR spectroscopy. Comparative spectroscopic evaluation was performed to investigate the coordination behavior of the Schiff-base ligand toward the La(III) ion and to identify the donor atoms involved in complex formation. In addition, the UV–Visible absorption and photoluminescence properties of the ligand and La(III) complex were investigated in two different solvents to evaluate the influence of complexation and solvent environment on their optical behavior. The obtained results provide further insight into the coordination and solvent-dependent optical properties of a 1,2,3-triazole-based Schiff-base La(III) complex.

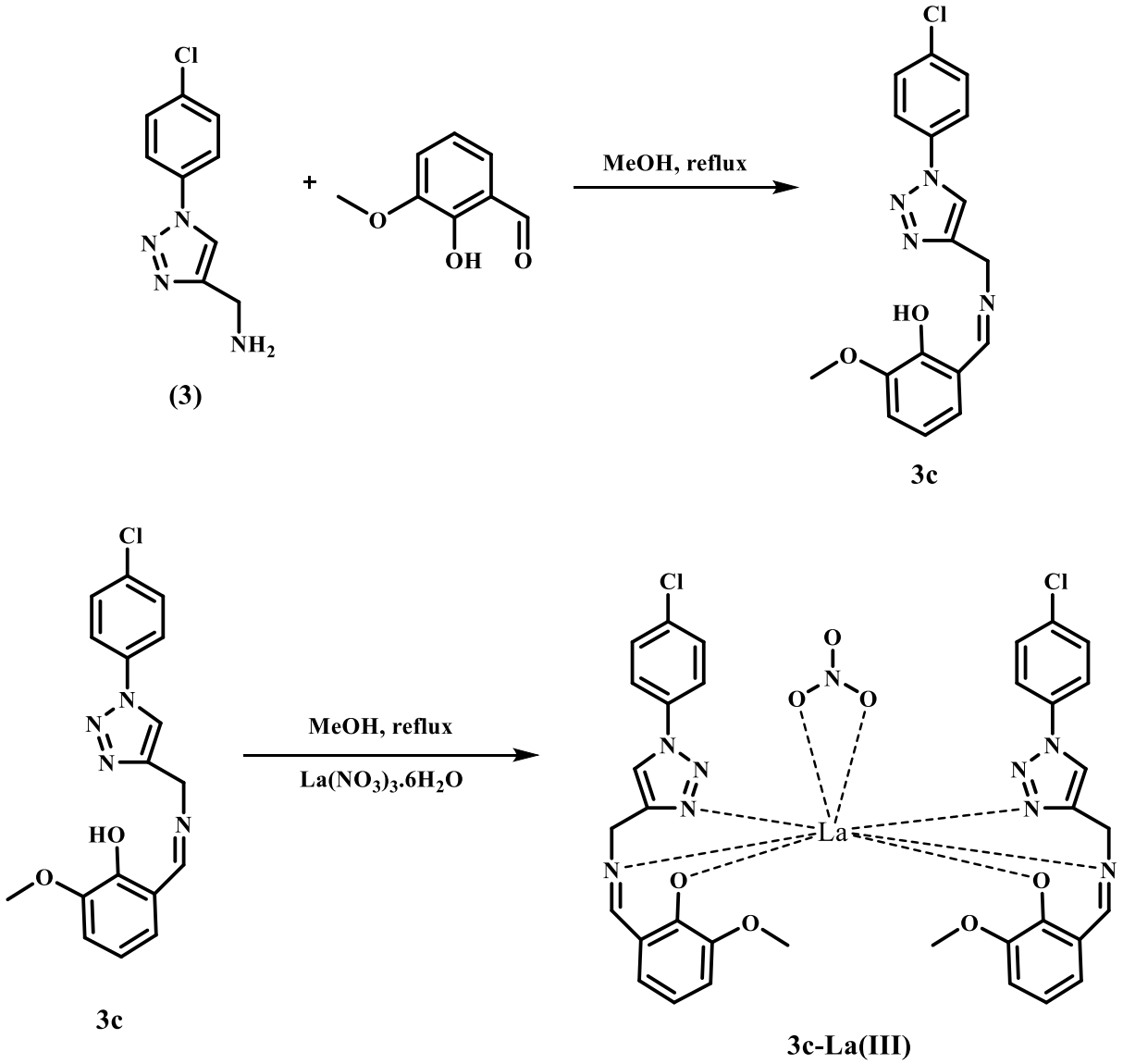


Figure 1 Synthetic route for the preparation of compounds 3, 3c and 3c-La(III).

2. MATERIAL AND METHODS

2.1 General

All starting materials and organic solvents were obtained from commercial suppliers and used without further purification. The FTIR (Fourier Transform Infrared) spectra of the compounds were performed on a PerkinElmer Paragon 1000 PC (Spectroscopic Instrument) in accordance with standard practice (**Fig. 2-3**). The $^{1}H/^{13}C$ nuclear magnetic resonance (NMR) spectra in $CDCl_3$-DMSO were recorded on a Bruker 400 MHz instrument, with TMS used as an internal standard (**Fig. 4-5**). The mass spectra of the complexes were obtained by means of a Bruker Microflex LT Maldi-TOF MS (**Fig. 6**).

2.2 Synthesis of 1,2,3-triazole compound (3)

The synthesis of 1,2,3-triazole compound (**3**) was accomplished in accordance with the following conventional procedure [11,12] .

2.3 Synthesis of 1,2,3-triazole Schiff base derivatives (3c)

Compound 1-(4-chlorophenyl)-4-(2-aminoethyl)-1H-1,2,3-triazole (3) (0.20 g, 1.1×10^{-3} mol) was dissolved in methanol (15 mL), and 2-hydroxybenzaldehyde (0.20 g, 1.1×10^{-3} mol) was

added to the solution. The reaction mixture was refluxed for 24 h. The progress of the reaction was monitored by thin-layer chromatography (TLC). Upon complete consumption of the starting materials, the reaction mixture was cooled to room temperature and the solvent was removed under reduced pressure using a rotary evaporator. The resulting solid was dried to afford the target Schiff base product. 1,2,3-Triazole Schiff Base (3c) was synthesized according to following typical procedure [15].

(3c): Molecular Formula: $C_{17}H_{15}ClN_4O_2$. **Yield:** %61, **Color:** yellow, **M.P:** 195-199 °C. **FTIR (ν, cm^{-1}):** 1632**,** 1501, 1466, 1254, 1038, 988, 833, 787, 733, 517, 482. **^{1}H NMR:** (400 MHz, CDCl3) δ 13.56 (s, 1H), 8.59 (s, 1H), 7.93 (s, 1H), 7.70 (d, J = 8.7 Hz, 2H), 7.51 (d, J = 8.7 Hz, 2H), 7.02 – 6.93 (m, 2H), 6.88 (t, J = 7.8 Hz, 1H), 5.05 (s, 2H), 3.94 (s, 3H). **^{13}C NMR:** (101 MHz, CDCl3) δ 167.35 (s), 151.13 (s), 148.36 (s), 146.52 (s), 135.47 (s), 129.95 (s), 123.20 (s), 121.67 (s), 119.78 (s), 118.50 (d, J = 3.8 Hz), 114.38 (s), 56.12 (s), 54.40 (s). **MALDI-TOF (m/z):** Found: 342,045.

2.4 Synthesis of La (III) complex (3c-La(III))

2-((((1-(4-chlorophenyl)-1H-1,2,3-triazol-4-yl)methyl)imino)methyl)-6-methoxyphenol (3c) (0.1 g, 2.9 × 10^{-4} mol) was dissolved in acetonitrile, and $La(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ (0.065 g, 1.5 × 10^{-4} mol) was added to the solution. The reaction mixture was refluxed at 100 °C overnight and subsequently allowed to cool to room temperature. The resulting precipitate was filtered and dried under ambient conditions to afford the corresponding La(III) complex.

(3c-La(III)): Molecular Formula: $C_{34}H_{28}Cl_2LaN_9O_7$ **Yield:** % 71, **Color:** Yellow, **M.P:** 335-341 °C. **FTIR (ν, cm^{-1}):** 1636, 1501, 1435, 1300, 1207, 1030, 949, 826, 721, 517, 409.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The synthetic route for the preparation of the Schiff base ligand (3c) and its La(III) complex (3c-La(III)) is shown in Figure 1. The ligand was synthesized via the condensation reaction of 1-(4-chlorophenyl)-4-(2-aminoethyl)-1H-1,2,3-triazole with salicylaldehyde in refluxing methanol. Subsequent reaction of the ligand with La(III) acetate monohydrate afforded the corresponding La(III) complex. The structures of both compounds were characterized by FT-IR, NMR, MALDİ-TOF MS and UV–Vis spectroscopy.

The FTIR spectrum of ligand 3c showed characteristic absorption bands, with the most relevant band observed at 1632 cm^{-1}, which can be assigned to the azomethine ν(C=N) vibration (Figure 2). Upon complexation with La(III), this band shifted to 1636 cm^{-1}, indicating a change in the

electronic environment of the azomethine group.

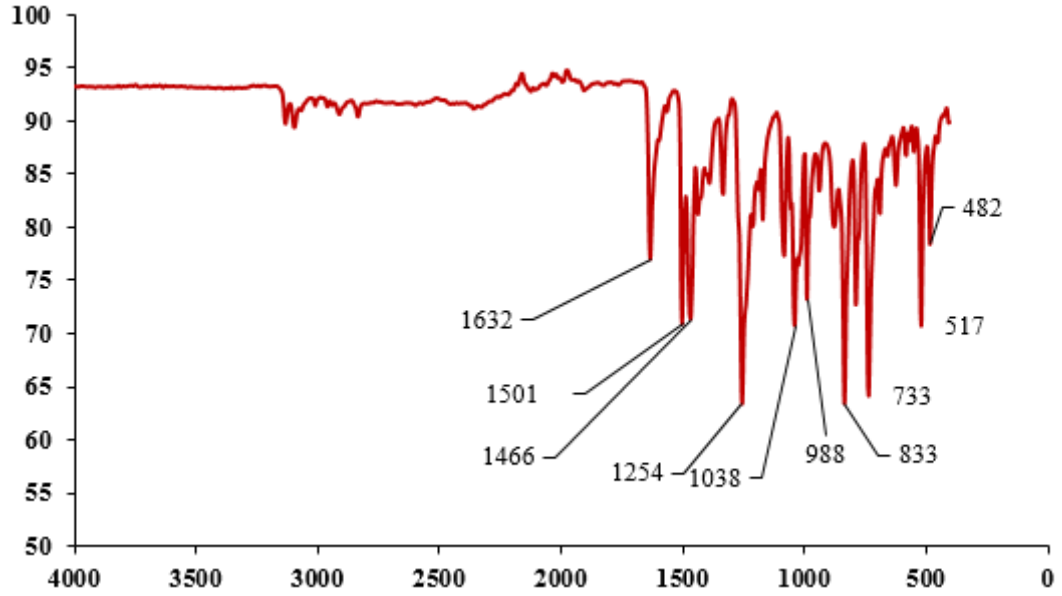


Figure 2 FTIR spectrum of the Schiff base ligand.

In addition, noticeable shifts were observed for the bands at 1254, 1038, and 988 cm^{-1}, which appeared at 1300, 1030, and 949 cm^{-1}, respectively, in the complex. These changes indicate alterations in the vibrational environment of the ligand following complex formation. Furthermore, a new band at 409 cm^{-1} was observed in the low-frequency region of 3c-La(III), which can be tentatively attributed to La–donor atom vibrations (Figure 3). Overall, the observed spectral changes support the coordination of ligand 3c to the La(III) center.

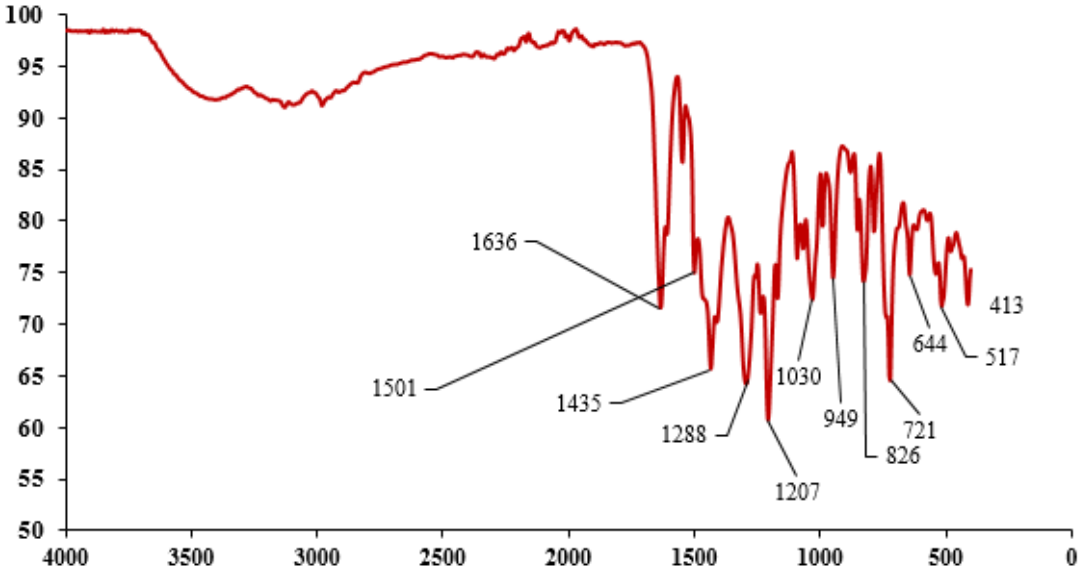


Figure 3 FTIR spectrum of the La(III) complex.

The molecular structure of ligand 3c was further confirmed by ^{1}H and ^{13}C NMR spectroscopy. In the ^{1}H NMR spectrum, the signal at δ 13.56 ppm was attributed to the phenolic OH proton, which appears downfield due to intramolecular hydrogen bonding. The singlet at δ 8.59 ppm was assigned to the azomethine (–CH=N–) proton, confirming the formation of the Schiff-base moiety. The aromatic protons appeared in the δ 6.88–7.93 ppm region, with the signals at δ 7.70 and 7.51 ppm corresponding to the two pairs of aromatic protons. The singlet at δ 5.05 ppm

was assigned to the methylene (–CH_2–) protons, while the signal at δ 3.94 ppm was attributed to the methoxy (–OCH_3) group.

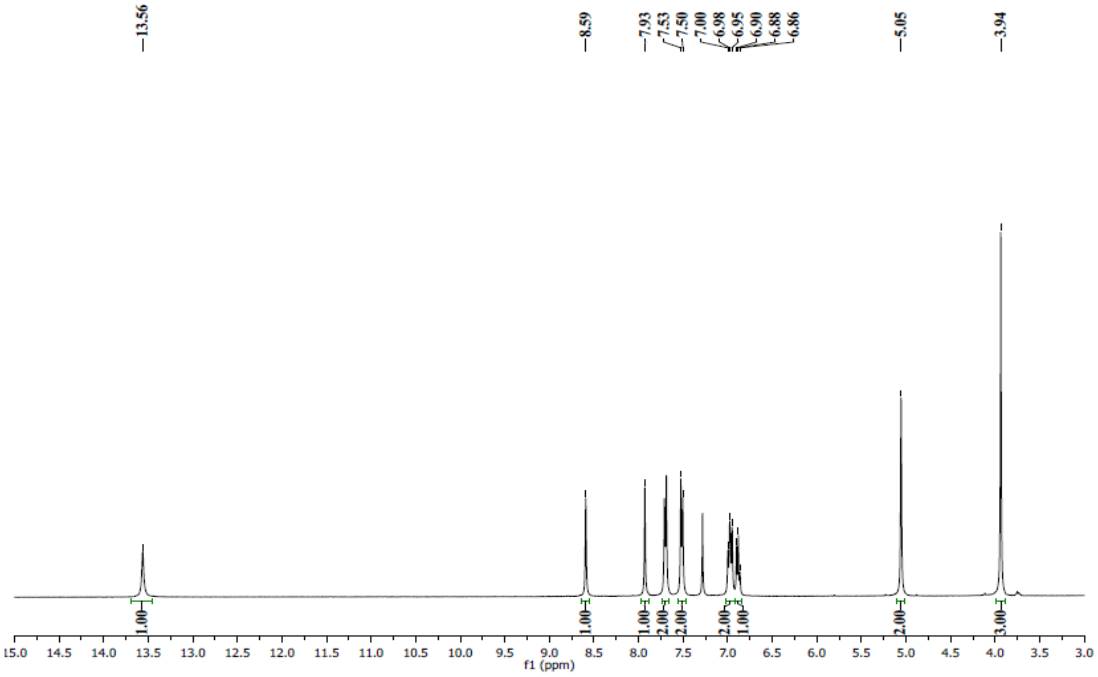


Figure 4 ^{1}H NMR spectrum of the ligand.

The ^{13}C NMR spectrum further supported the proposed structure of 3c. The signal at δ 167.35 ppm was assigned to the azomethine carbon (–CH=N–), while the signals in the δ 114.38–151.13 ppm range were attributed to the aromatic and substituted aromatic carbons. The resonance at δ 56.12 ppm was assigned to the methoxy carbon, whereas the signal at δ 54.40 ppm was attributed to the methylene carbon. Overall, the ^{1}H and ^{13}C NMR data are consistent with the proposed molecular structure of ligand 3c.

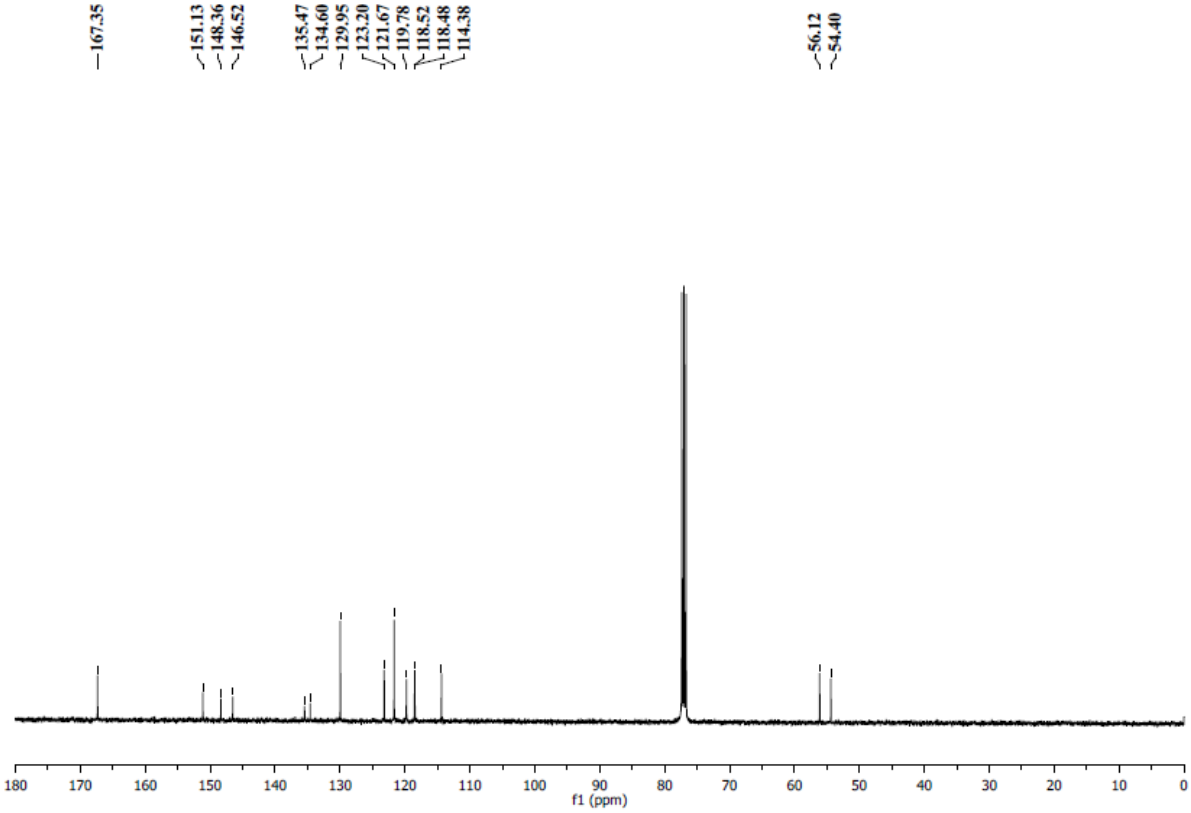


Figure 5 ^{13}C NMR spectrum of the ligand.

The ESI-MS spectrum of 3c exhibited a prominent molecular ion peak at m/z 342,045, corresponding to the protonated molecular ion $[M+H]^+$, confirming the expected molecular composition of the Schiff base ligand.

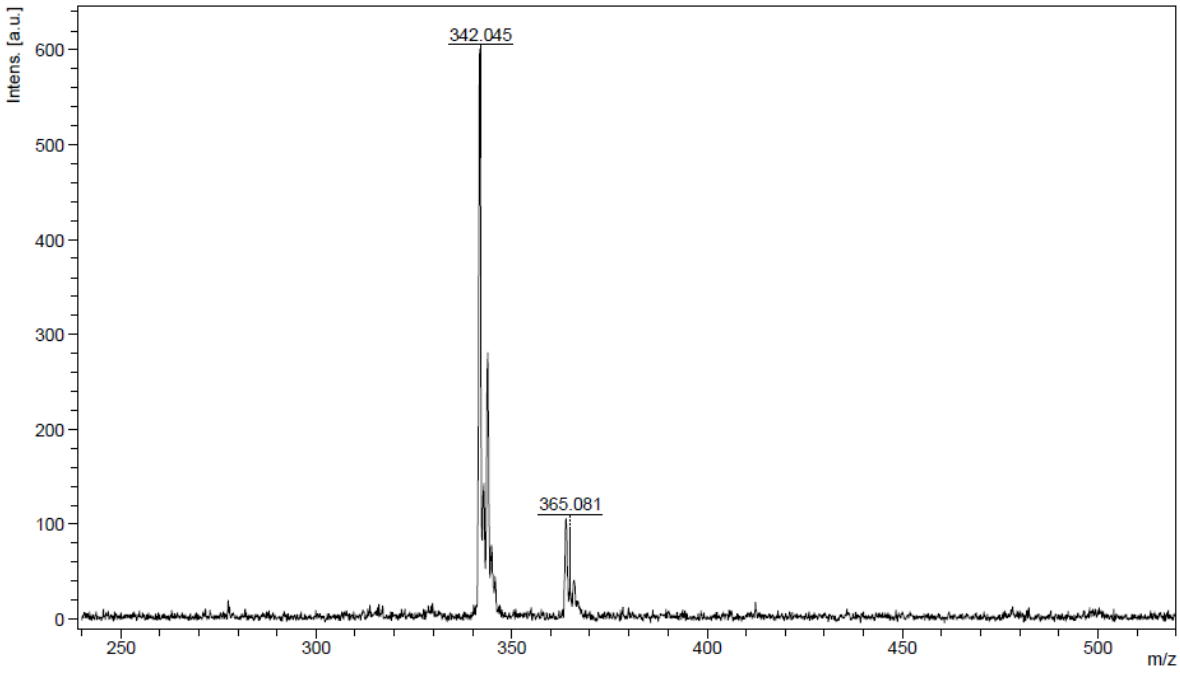


Figure 6 Mass spectrum of the ligand.

3.1. UV–Vis Spectroscopic Properties

The electronic absorption spectra of the ligand 3c and its La(III) complex were recorded in methanol (MeOH) and dimethyl sulfoxide (DMSO) at a concentration of 1×10^{-4} M. The spectra were evaluated primarily in the 300–600 nm region because the absorbance values in the lower wavelength region approached the upper instrumental limit, which may reduce the reliability of quantitative comparison in this region.

In MeOH, the ligand 3c exhibited an absorption maximum at approximately 329.5 nm, while the corresponding 3c-La complex showed an absorption maximum at approximately 330.0 nm. The small shift toward longer wavelength indicates that coordination of La(III) slightly modifies the electronic environment of the ligand chromophore.

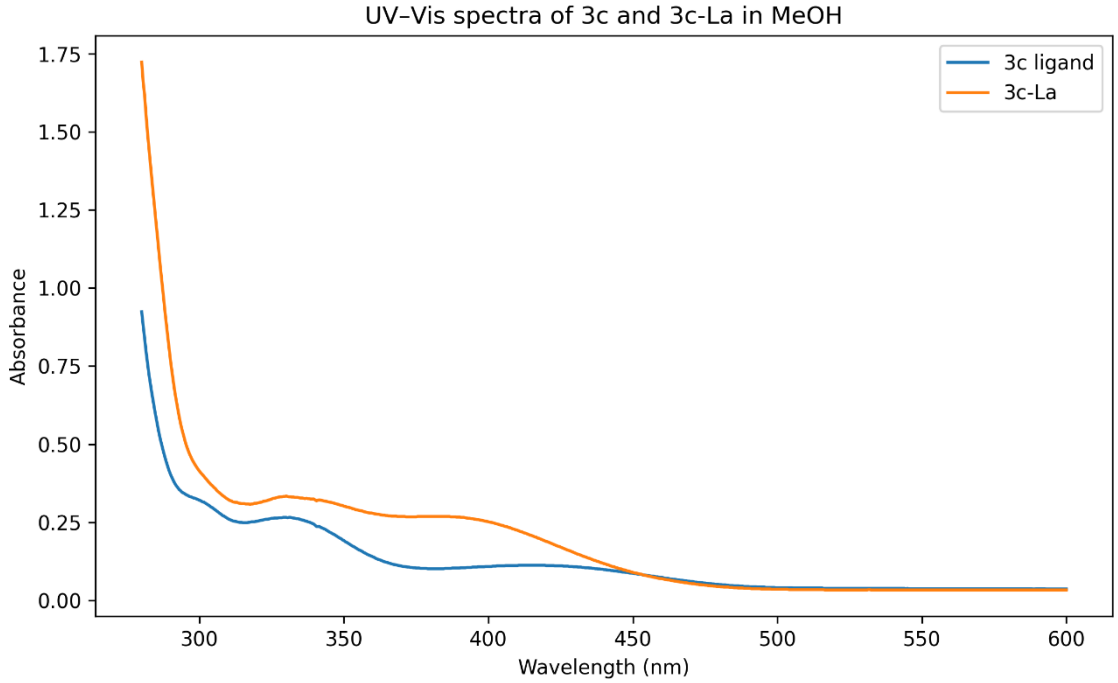


Figure 7 UV–Vis absorption spectra of 3c and 3c-La in MeOH.

In addition to the slight shift in the absorption maximum, an increase in the absorption intensity was observed for the 3c-La complex. This change can be associated with the modification of the electronic structure of the ligand upon coordination to the La(III) center.

In DMSO, the absorption maximum of 3c was observed at approximately 328.5 nm, whereas the 3c-La complex exhibited its corresponding maximum at approximately 331.5 nm. Thus, a more pronounced bathochromic shift was observed in DMSO than in MeOH. The increase in absorption intensity was also more evident in DMSO.

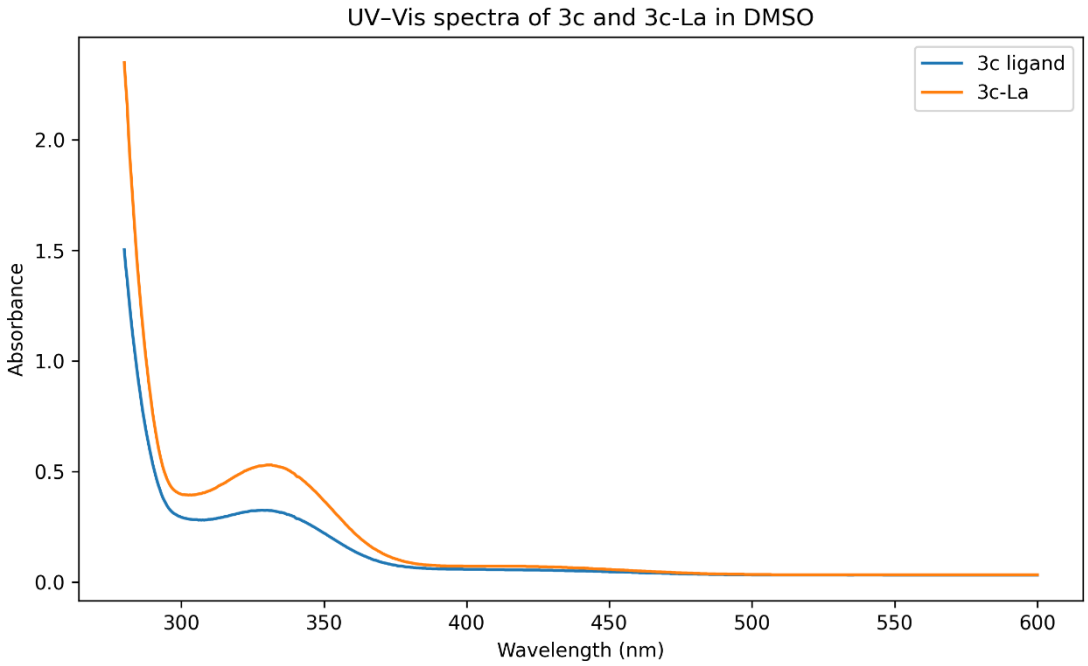


Figure 8 UV–Vis absorption spectra of 3c and 3c-La in DMSO.

The observed changes in the absorption wavelength and intensity indicate that coordination to La(III) affects the electronic distribution within the ligand system. However, the relatively small wavelength shifts suggest that the coordination process does not result in a major alteration of the principal electronic transition. The differences between MeOH and DMSO further indicate that the solvent environment contributes to the observed electronic spectral behavior.

3.2. Photoluminescence Properties

The photoluminescence properties of the 3c-La complex were subsequently investigated in MeOH and DMSO. Both excitation and emission spectra were recorded in order to evaluate the effect of La(III) coordination and solvent environment on the excited-state behavior of the complex.

In MeOH, the excitation spectrum of 3c-La displayed a strong maximum at approximately 321 nm, together with a second excitation feature around 373 nm. Upon excitation, the emission spectrum exhibited two prominent bands at approximately 393 nm and 481 nm.

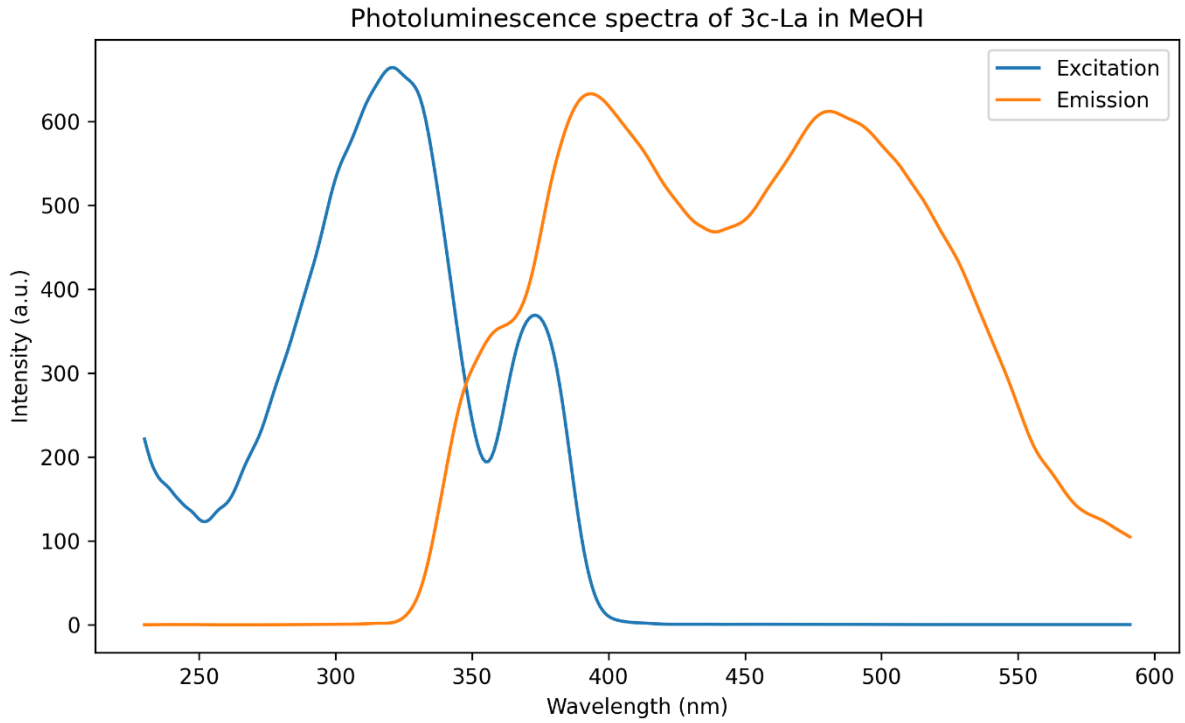


Figure 9 Excitation and emission spectra of 3c-La in MeOH.

The emission bands observed at 393 and 481 nm indicate that the excited-state behavior of the complex involves more than one emissive transition or excited-state environment. The presence of multiple emission features may arise from different ligand-centered excited states and/or changes in the electronic environment produced by coordination to La(III). Since La(III) possesses a closed-shell $4f^0$ electronic configuration, the observed emission should not be interpreted simply as a conventional metal-centered 4f–4f emission. Instead, the spectral behavior is more appropriately discussed in terms of ligand-centered and coordination-modified electronic transitions.

In DMSO, the photoluminescence profile of 3c-La differed from that observed in MeOH. The excitation spectrum showed a pronounced maximum at approximately 379 nm. The emission spectrum contained two main features at approximately 408 nm and 458 nm, with the latter representing the more intense emission band.

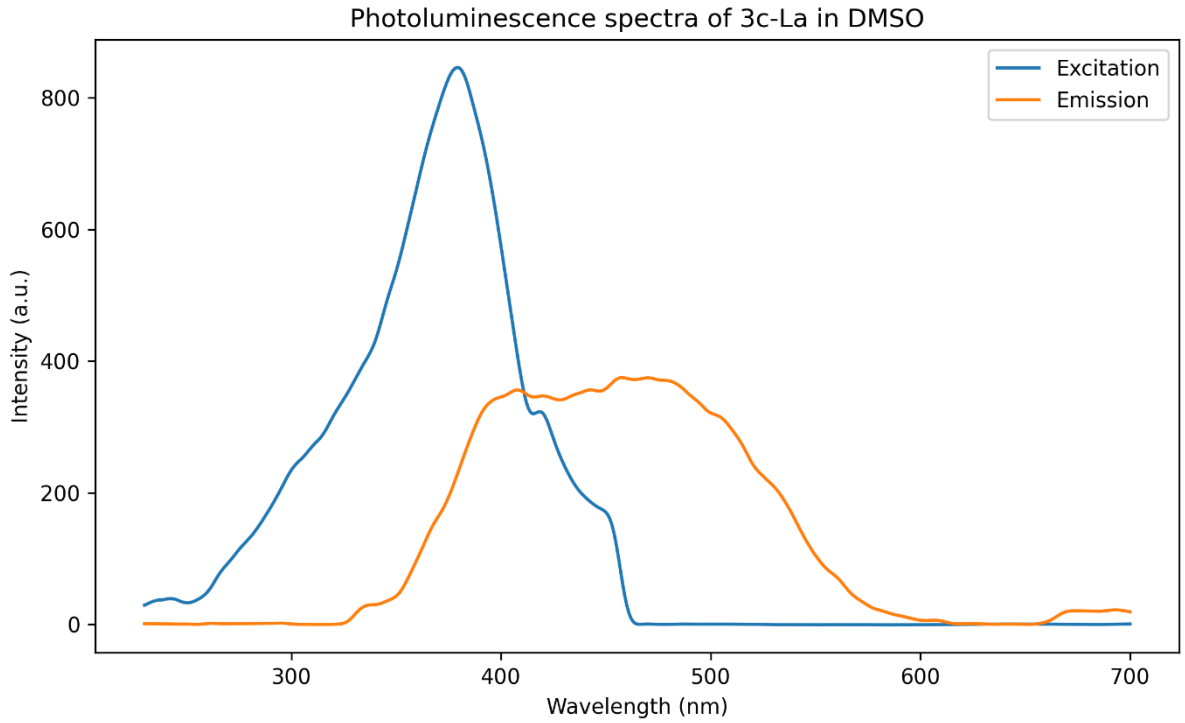


Figure 10 Excitation and emission spectra of 3c-La in DMSO.

The shift of the principal excitation maximum from approximately 321 nm in MeOH to 379 nm in DMSO demonstrates a pronounced solvent dependence of the excited-state properties of 3c-La. The emission profile also changes substantially between the two solvents, with the dominant emission occurring at approximately 393 nm in MeOH and 458 nm in DMSO. These changes indicate that the excited states of the complex are sensitive to the surrounding solvent environment.

The solvent-dependent photoluminescence behavior may be related to differences in polarity, solvation, and stabilization of the ground and excited states. Such solvent effects can alter the relative energies of the electronic states involved in excitation and emission. Therefore, the differences observed between MeOH and DMSO suggest that the photophysical properties of 3c-La are not solely determined by the coordination structure but are also significantly influenced by the solvent environment.

Overall, the UV–Vis and photoluminescence measurements demonstrate that coordination of 3c to La(III) produces measurable changes in both the ground-state absorption and excited-state characteristics of the ligand. The UV–Vis spectra show relatively small shifts in the absorption maxima, whereas the photoluminescence spectra exhibit more pronounced solvent-dependent changes. These findings indicate that the La(III) coordination process modifies the electronic environment of the ligand and consequently affects its photophysical behavior.

.

4. CONCLUSIONS

A new 1,2,3-triazole-based Schiff base ligand (3c) and its La(III) complex (3c-La) were successfully synthesized and characterized by complementary spectroscopic methods. The ^{1}H and ^{13}C NMR data supported the proposed structure of ligand 3c, while the FT-IR spectra revealed clear spectral modifications following La(III) coordination. In particular, the azomethine ν(C=N) band shifted from 1632 to 1636 cm^{-1}, accompanied by changes in other

characteristic ligand vibrations. Most notably, the appearance of a new band at 409 cm^{-1} in the spectrum of 3c-La provides additional evidence for metal–donor atom interactions. The UV–Vis measurements revealed changes in the characteristic electronic absorption profile of the ligand upon La(III) coordination, indicating an altered electronic environment within the coordinated system. In addition, the photoluminescence measurements demonstrated that complex formation affects the emission behavior of the ligand, providing evidence for changes in its excited-state properties. The combined UV–Vis and photoluminescence results therefore show that La(III) coordination influences not only the vibrational characteristics of 3c but also its electronic and photophysical behavior. Overall, the complementary spectral data consistently support the formation of 3c-La and demonstrate the potential of this 1,2,3-triazole-based Schiff base framework for the development of lanthanide coordination systems with tunable photophysical properties.

REFERENCES

[1] X. Liu, J. Hamon, Recent developments in penta- , hexa- and heptadentate Schiff base ligands and their metal complexes, Coord. Chem. Rev. 389 (2019) 94–118. https://doi.org/10.1016/j.ccr.2019.03.010.

[2] R. Kumar, K. Seema, D.K. Singh, P. Jain, B. Gautam, S.N. Kumar, Synthesis , antibacterial and antifungal activities of Schiff base rare earth metal complexes : a review of recent work, J. Coord. Chem. 76 (2023) 1065–1093. https://doi.org/10.1080/00958972.2023.2231608.

[3] H. Ferkous, A. Delimi, A. Djedouani, Y. Benguerba, Schiff bases and their metal Complexes : A review on the history , synthesis , and applications, 150 (2023). https://doi.org/10.1016/j.inoche.2023.110451.

[4] P.A. Scattergood, A. Sinopoli, P.I.P. Elliott, Photophysics and photochemistry of 1 , 2 , 3-triazole-based complexes, Coord. Chem. Rev. 350 (2017) 136–154. https://doi.org/10.1016/j.ccr.2017.06.017.

[5] Y.A. Belousov, A.A. Drozdov, I. V Taydakov, F. Marchetti, R. Pettinari, C. Pettinari, Lanthanide azolecarboxylate compounds : Structure , luminescent properties and applications, Coord. Chem. Rev. 445 (2021) 214084. https://doi.org/10.1016/j.ccr.2021.214084.

[6] J.G. Bünzli, Review : Lanthanide coordination chemistry : from old concepts to coordination polymers Review : Lanthanide coordination chemistry : from old, J. Coord. Chem. 67 (2014) 3704–3731. https://doi.org/10.1080/00958972.2014.957201.

[7] S.A. Cotton, P.R. Raithby, Systematics and surprises in lanthanide coordination chemistry, Coord. Chem. Rev. 340 (2017) 220–231. https://doi.org/10.1016/j.ccr.2017.01.011.

[8] Y. Belay, A. Muller, Lanthanum-1 , 2 , 3-Triazole-based 2D coordination polymer is an Efficient Catalyst for the Oxidation of Olefins, (2007) 1–22.

[9] N.A. Al Riyami, N.K. Al-rasbi, Inorganica Chimica Acta Factors that influence the energy transfer pathways in luminescent lanthanide Schiff base complexes, Inorganica Chim. Acta 572 (2024) 122324. https://doi.org/10.1016/j.ica.2024.122324.

[10] M.A. Palafox, L.T. Todorov, N.P. Belskaya, J. Álvarez-conde, D. Díaz-garcía, S. Gómez-ruiz, I.P. Kostova, The Spectroscopic Characterization and Photophysical Properties of a Hydrated Lanthanum Ion Complex with a Triazole Ligand by Several DFT Methods, (2025) 1–32.

[11] M. Çelik, Ö. Güngör, M. Köse, NN-type 1 , 2 , 3-triazole ligands and their transition metal complexes : Synthesis , structure , and DNA binding, 1359 (2026). https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2026.145483.

[12] M. Çelik, S. Çelik, M. Köse, 1 , 2 , 3-Triazole ligand and its Cu (II), Zn (II), Pt (II), Ru (II) complexes : synthesis , anticancer and antibacterial properties, J. Coord. Chem. 0 (2026) 1–14. https://doi.org/10.1080/00958972.2026.2649328.

[13] J. Devi, B. Taxak, B. Kumar, S. Rani, studies †, (2025) 7167–7178. https://doi.org/10.1039/d5dt00274e.

SYNTHESIS, SPECTROSCOPIC CHARACTERIZATION and OPTICAL PROPERTIES of a NOVEL SCHIFF BASE LIGAND and ITS CERIUM(III) COMPLEX

Dr. Öğr. Üyesi Muhammet Çelik
Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Department of Food Processing, Food Technology Program
ORCID ID: 0000-0003-1908 1704

ABSTRACT
In this study, a Schiff-base ligand (3c) and its Ce(III) complex (3c-Ce) were investigated using spectroscopic techniques. The structure of the ligand was characterized by FT-IR, ^{1}H NMR, and ^{13}C NMR spectroscopy. The FT-IR spectrum of 3c exhibited a characteristic azomethine ν(C=N) band at 1632 cm^{-1}, while the ^{1}H NMR spectrum showed the azomethine proton at δ 8.59 ppm and the phenolic OH proton at δ 13.56 ppm. In the ^{13}C NMR spectrum, the azomethine carbon was observed at δ 167.35 ppm, supporting the proposed Schiff-base structure. Following complex formation, the FT-IR spectrum of 3c-Ce showed changes in the characteristic ligand vibrations, together with a low-frequency band attributed to Ce–N/Ce–O coordination, supporting the formation of the Ce(III) complex. The UV–Vis spectra of 3c and 3c-Ce revealed changes in their electronic absorption characteristics upon complexation, indicating an alteration of the electronic environment of the ligand. In addition, photoluminescence measurements demonstrated changes in the emission behavior of the ligand following Ce(III) coordination, indicating that complex formation influences the photophysical properties of the Schiff-base system. Overall, the spectroscopic results confirm the formation of 3c-Ce and demonstrate the effect of Ce(III) coordination on the structural, electronic, and photophysical properties of the ligand.
Keywords: Schiff base; Ce(III) complex; 3c-Ce; FT-IR spectroscopy; NMR spectroscopy; UV–Vis spectroscopy; Photoluminescence; Photophysical properties

1. INTRODUCTION
Schiff bases, characterized by the presence of the azomethine (–C=N–) functional group, constitute an important class of ligands in coordination chemistry because of their facile synthesis, structural versatility, and ability to coordinate a wide range of metal ions [1–3]. They are commonly synthesized through the condensation of primary amines with aldehydes or ketones, providing a convenient strategy for constructing ligands with tunable donor properties and diverse coordination modes [1,2]. The incorporation of additional nitrogen- and oxygen-containing donor groups into Schiff-base frameworks can further enhance their chelating ability and structural diversity. Consequently, Schiff-base metal complexes have attracted considerable interest in coordination chemistry, catalysis, biological chemistry, and functional materials [1–3].

Nitrogen-containing heterocycles, particularly 1,2,3-triazole derivatives, have attracted considerable attention as ligand systems because of their versatile coordination behavior, electronic characteristics, and ability to participate in diverse metal–ligand interactions [4,5]. The nitrogen atoms of the 1,2,3-triazole ring can provide coordination sites for metal ions, while the incorporation of additional donor groups enables the construction of chelating and bridging ligand architectures. In addition, the electronic properties of 1,2,3-triazole-containing ligands

can be modified through substitution and metal coordination, making these systems attractive for both coordination and photophysical studies [4,5]. The combination of a 1,2,3-triazole unit with a Schiff-base framework is therefore a promising approach for developing multifunctional ligands containing complementary nitrogen and oxygen donor sites.

Lanthanide(III) ions are widely investigated as coordination centers because of their large ionic radii, hard Lewis-acid character, flexible coordination environments, and ability to accommodate relatively high coordination numbers [6,7]. Their coordination geometries are strongly influenced by the nature of the donor atoms, ligand architecture, coordination number, counterions, and solvent molecules [6,7]. Schiff-base ligands containing nitrogen and oxygen donor atoms are consequently suitable for coordination with lanthanide(III) ions, particularly because of the hard-acid/hard-base character of these metal–ligand interactions [1,6]. Depending on the ligand structure and reaction conditions, lanthanide complexes can display diverse coordination geometries, nuclearities, and electronic properties [6,7].

Cerium(III) is of particular interest among the lanthanide ions because of its distinctive electronic structure and accessible Ce(III)/Ce(IV) redox couple. The redox chemistry of cerium differs from that of most other lanthanides because both oxidation states can participate in molecular coordination chemistry, and the relative stability of Ce(III) and Ce(IV) is strongly dependent on the coordination environment and ligand donor properties [8,9]. The Ce(III)/Ce(IV) redox potential can vary substantially with ligand environment, demonstrating that the electronic properties of cerium complexes are not determined solely by the metal ion but are also strongly influenced by the surrounding coordination sphere [8]. In particular, Ce(IV) is stabilized by suitable hard donor environments, while ligand reorganization and electron-transfer kinetics can significantly influence the redox behavior of molecular cerium systems [8,9].

The coordination chemistry of Ce(III) with nitrogen- and oxygen-donor ligands has been extensively explored, and Ce(III)-based coordination compounds can exhibit diverse structural architectures and functional properties [10]. In particular, Ce(III)-based coordination polymers and molecular complexes containing N/O-donor ligands have been investigated for applications involving luminescence, sensing, redox chemistry, and materials development [10]. The relatively large coordination sphere of Ce(III) also permits flexible binding of polydentate ligands, making Schiff-base ligands incorporating heterocyclic nitrogen donor groups attractive candidates for the development of new Ce(III) coordination compounds.

Recent studies have provided direct evidence for the ability of 1,2,3-triazole-containing ligands to coordinate Ce(III) and modify the electronic properties of the resulting complexes. In 2024, Palafox et al. reported a Ce(III) complex containing a 1,2,3-triazole ligand and investigated its structural, spectroscopic, and electronic properties using experimental vibrational spectroscopy and several DFT methods [11]. The study demonstrated that coordination to Ce(III) influences the molecular properties and electronic structure of the triazole-containing ligand. Interestingly, the corresponding Ce(III) complex was compared with an analogous La(III) complex, providing evidence that the identity of the lanthanide center can influence the electronic and chemical behavior of structurally related triazole systems [11].

The optical properties of Ce(III) coordination compounds are also strongly dependent on ligand structure and the nature of the metal–ligand interaction. In particular, Schiff-base and triazole-

containing ligands can provide chromophoric systems in which metal coordination alters ligand-centered electronic transitions and excited-state processes [4,5,12]. A recent 2025 study reported a Schiff-base-derived 1,2,3-triazole chemosensor for selective Ce(III) recognition and demonstrated pronounced changes in both UV–Visible absorption and fluorescence spectra upon interaction with Ce(III) ions [12]. DFT calculations further supported the proposed coordination mode involving nitrogen and oxygen donor sites [12]. These findings demonstrate the close relationship between 1,2,3-triazole/Schiff-base architectures, Ce(III) coordination, and measurable changes in optical properties.

The combination of UV–Visible absorption and photoluminescence spectroscopy can therefore provide complementary information concerning the electronic and excited-state behavior of Ce(III) coordination compounds. UV–Visible spectroscopy enables the monitoring of ligand-centered electronic transitions and spectral changes resulting from complex formation, whereas photoluminescence measurements can provide information about changes in the excited-state behavior of the coordinated ligand [4,5,12]. Moreover, solvent-dependent measurements are particularly useful because solvent polarity, hydrogen-bonding interactions, solvation, molecular aggregation, and conformational changes can influence both absorption and emission characteristics. Consequently, comparative UV–Visible and photoluminescence studies performed in different solvents can provide valuable information about the effects of Ce(III) coordination and the surrounding solvent environment on the optical properties of triazole-based Schiff-base systems.

In the present study, a new 1,2,3-triazole-based Schiff-base ligand was synthesized through the condensation of 1-(4-chlorophenyl)-4-(2-aminoethyl)-1H-1,2,3-triazole with salicylaldehyde. Subsequently, the corresponding Ce(III) complex was prepared via coordination of the Schiff-base ligand with cerium(III) nitrate hexahydrate, $Ce(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$. The synthesized ligand was comprehensively characterized using FT-IR, ^{1}H NMR, ^{13}C NMR, and mass spectrometry, whereas the Ce(III) complex was characterized by FT-IR spectroscopy. Comparative spectroscopic evaluation was performed to investigate the coordination behavior of the Schiff-base ligand toward the Ce(III) ion and to identify the donor atoms involved in complex formation. In addition, the UV–Visible absorption and photoluminescence properties of the ligand and Ce(III) complex were investigated in two different solvents to evaluate the influence of complexation and solvent environment on their optical behavior. The obtained results provide further insight into the coordination, electronic, and solvent-dependent optical

properties of a 1,2,3-triazole-based Schiff-base Ce(III) complex.

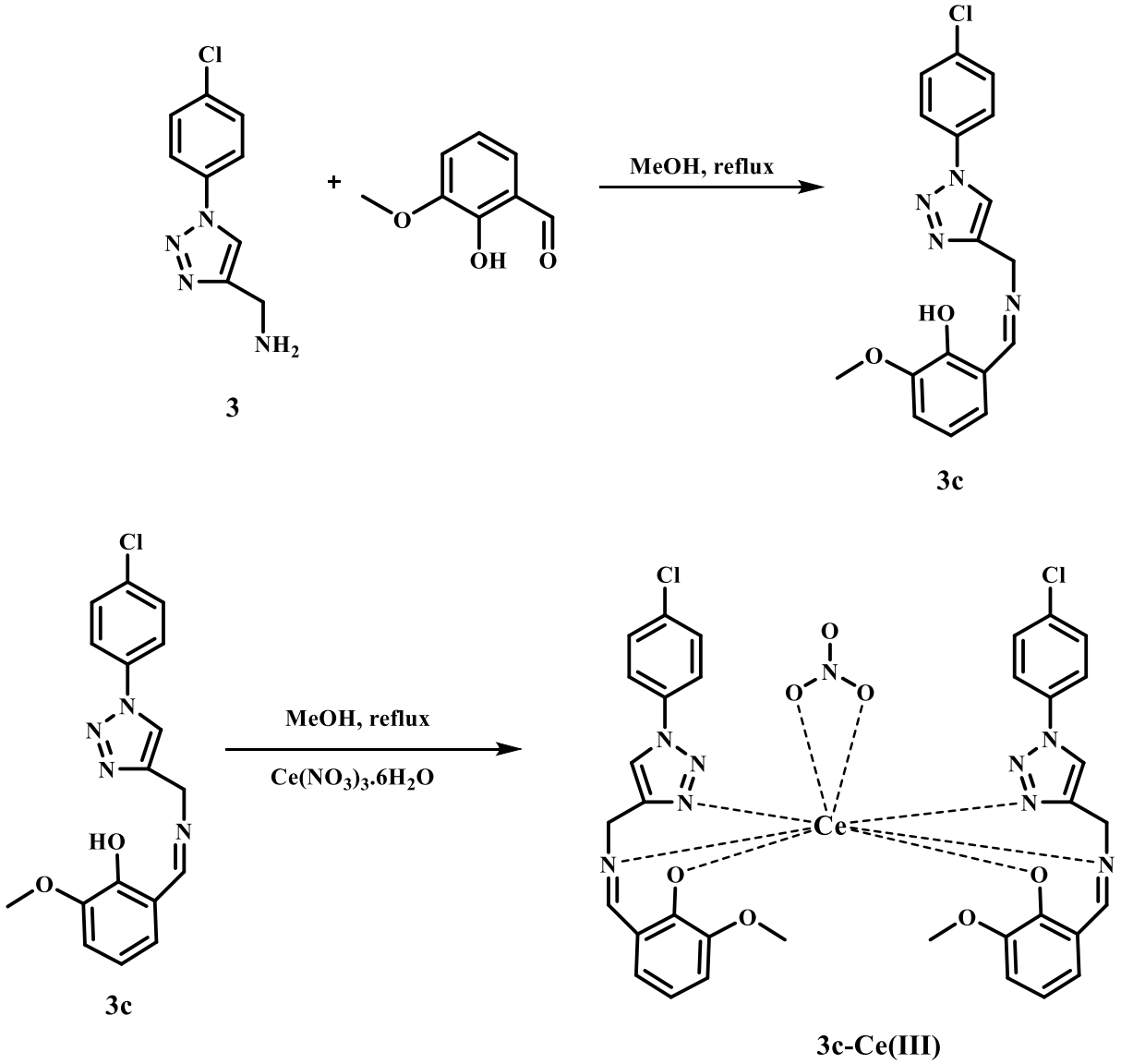


Figure 1 Synthetic route for the preparation of compounds 3, 3c and 3c-Ce(III).

2. MATERIAL AND METHODS

2.1 General

All starting materials and organic solvents were obtained from commercial suppliers and used without further purification. The FTIR (Fourier Transform Infrared) spectra of the compounds were performed on a PerkinElmer Paragon 1000 PC (Spectroscopic Instrument) in accordance with standard practice (**Fig. 2-3**). The $^{1}H/^{13}C$ nuclear magnetic resonance (NMR) spectra in $CDCl_3$-DMSO were recorded on a Bruker 400 MHz instrument, with TMS used as an internal standard (**Fig. 4-5**). The mass spectra of the complexes were obtained by means of a Bruker Microflex LT Maldi-TOF MS (**Fig. 6**).

2.2 Synthesis of 1,2,3-triazole compound (3)

The synthesis of 1,2,3-triazole compound (**3**) was accomplished in accordance with the following conventional procedure [13,14] .

2.3 Synthesis of 1,2,3-triazole Schiff base derivatives (3c)

Compound 1-(4-chlorophenyl)-4-(2-aminoethyl)-1H-1,2,3-triazole (3) (0.20 g, 1.1×10^{-3} mol)

was dissolved in methanol (15 mL), and 2-hydroxybenzaldehyde (0.20 g, 1.1×10^{-3} mol) was added to the solution. The reaction mixture was refluxed for 24 h. The progress of the reaction was monitored by thin-layer chromatography (TLC). Upon complete consumption of the starting materials, the reaction mixture was cooled to room temperature and the solvent was removed under reduced pressure using a rotary evaporator. The resulting solid was dried to afford the target Schiff base product. 1,2,3-Triazole Schiff Base **(3c)** was synthesized according to following typical procedure [15].

(3c): Molecular Formula: $C_{17}H_{15}ClN_4O_2$. **Yield:** %61, **Color:** yellow, **M.P:** 195-199 °C. **FTIR (ν, cm^{-1}):** 1632**,** 1501, 1466, 1254, 1038, 988, 833, 787, 733, 517, 482. **^{1}H NMR:** (400 MHz, CDCl3) δ 13.56 (s, 1H), 8.59 (s, 1H), 7.93 (s, 1H), 7.70 (d, J = 8.7 Hz, 2H), 7.51 (d, J = 8.7 Hz, 2H), 7.02 – 6.93 (m, 2H), 6.88 (t, J = 7.8 Hz, 1H), 5.05 (s, 2H), 3.94 (s, 3H). **^{13}C NMR:** (101 MHz, CDCl3) δ 167.35 (s), 151.13 (s), 148.36 (s), 146.52 (s), 135.47 (s), 129.95 (s), 123.20 (s), 121.67 (s), 119.78 (s), 118.50 (d, J = 3.8 Hz), 114.38 (s), 56.12 (s), 54.40 (s). **MALDI-TOF (m/z):** Found: 342,045.

2.4 Synthesis of Ce (III) complex (3c-Ce(III))

2-((((1-(4-chlorophenyl)-1H-1,2,3-triazol-4-yl)methyl)imino)methyl)phenol (3c) (0.1 g, 2.9×10^{-4} mol) was dissolved in acetonitrile, and $Ce(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ (0.065 g, 1.5×10^{-4} mol) was added to the solution. The reaction mixture was refluxed at 100 °C overnight and subsequently allowed to cool to room temperature. The resulting precipitate was filtered and dried under ambient conditions to afford the corresponding Ce(III) complex.

(3c-Ce(III)): Molecular Formula: $C_{34}H_{28}CeCl_2N_9O_7$ **Yield:** % 72, **Color:** yellow, **M.P:** 321-327 °C. **FTIR (ν, cm^{-1}):** 1636, 1501, 1435, 1288, 1207, 1030, 949, 826, 721, 644, 517, 413.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The synthetic route for the preparation of the Schiff base ligand (3c) and its Ce(III) complex (3c-Ce(III)) is shown in Figure 1. The ligand was synthesized via the condensation reaction of 1-(4-chlorophenyl)-4-(2-aminoethyl)-1H-1,2,3-triazole with salicylaldehyde in refluxing methanol. Subsequent reaction of the ligand with Cerium (III) acetate monohydrate afforded the corresponding Ce(III) complex. The structures of both compounds were characterized by FT-IR, NMR, MALDİ-TOF MS and UV–Vis spectroscopy.

The FT-IR spectrum of the Schiff-base ligand 3c exhibited characteristic absorption bands corresponding to the azomethine, aromatic, C–O, and C–N functional groups **(**Figure 2). The characteristic ν(C=N) stretching vibration confirmed the formation of the Schiff-base moiety. The observed aromatic C=C and C–O/C–N stretching vibrations were consistent with the expected structural features of the ligand. These characteristic absorptions were used as reference features to evaluate the changes occurring upon coordination of 3c with La(III) and

Ce(III) ions.

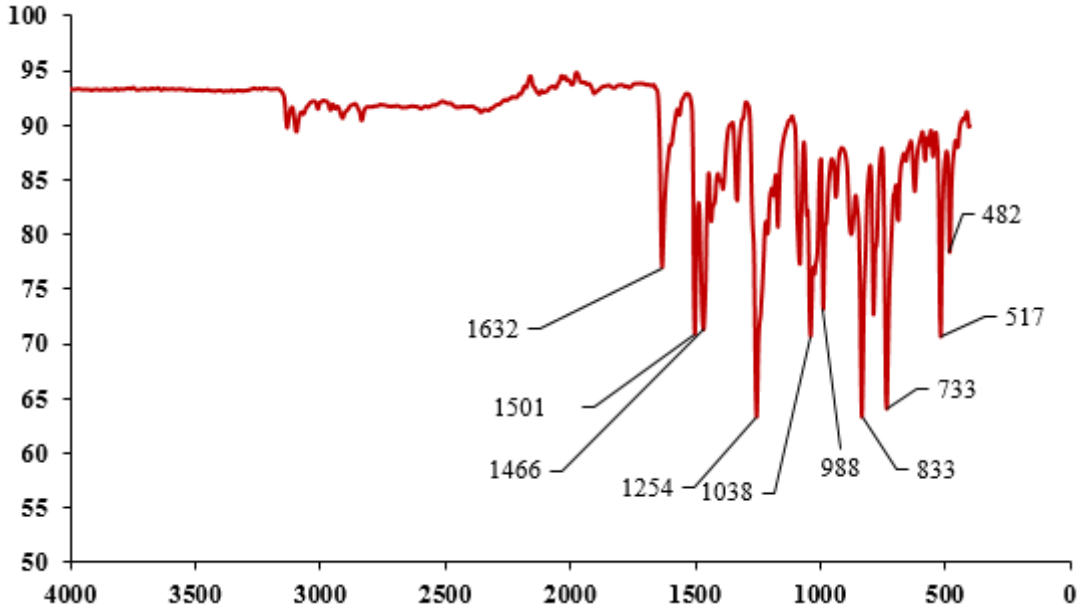


Figure 2 FTIR spectrum of the Schiff base ligand.

The FT-IR spectrum of 3c-Ce showed the characteristic vibrational features of the Schiff-base ligand. The azomethine ν(C=N) band exhibited a slight shift from 1632 to 1636 cm^{-1} upon complex formation, indicating a change in the electronic environment of the azomethine group. In addition, changes in the C–O/C–N vibrational region were observed after coordination (Figure 3). The low-frequency band at 413 cm^{-1} is tentatively assigned to Ce–N/Ce–O vibrations, providing further support for coordination of the ligand to the Ce(III) center. Overall, the FT-IR data support the formation of the 3c-Ce complex.

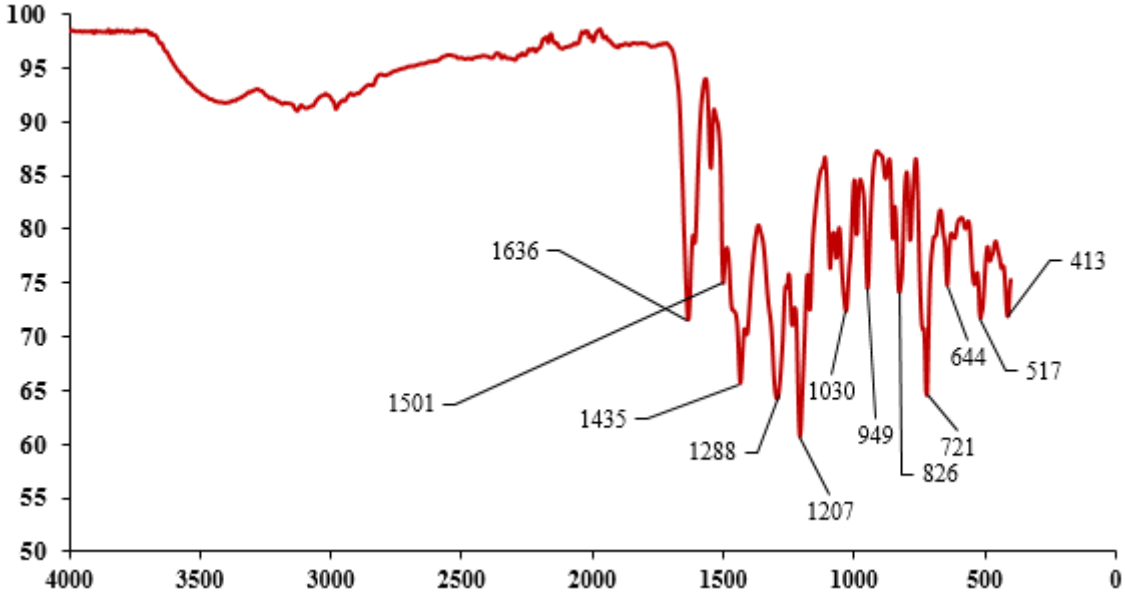


Figure 3 FTIR spectrum of the Ce(III) complex.

The structure of ligand 3c was further confirmed by ^{1}H and ^{13}C NMR spectroscopy. In the ^{1}H NMR spectrum, the signal at δ 13.56 ppm was attributed to the phenolic OH proton, while the singlet at δ 8.59 ppm was assigned to the azomethine CH=N proton. The signals at δ 5.05 and 3.94 ppm correspond to the CH_2 and OCH_3 groups, respectively. The remaining signals in the

aromatic region are consistent with the expected aromatic proton environment.

In the ^{13}C NMR spectrum, the signal at δ 167.35 ppm was assigned to the azomethine C=N carbon. The signals in the δ 114.38–151.13 ppm region were attributed to aromatic carbons, while the resonances at δ 56.12 and 54.40 ppm correspond to the aliphatic carbon environments. These NMR data are in good agreement with the proposed structure of 3c.

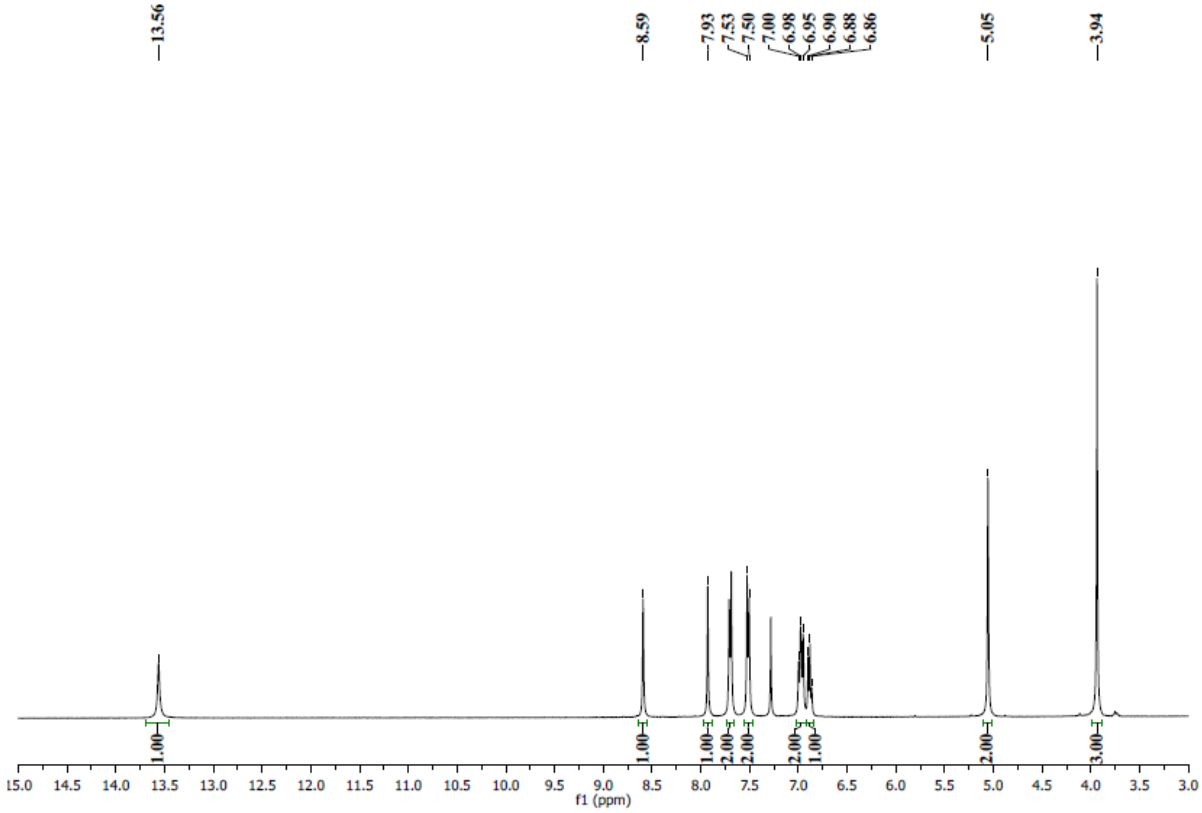


Figure 4 ^{1}H NMR spectrum of the ligand.

The ^{13}C NMR spectrum of 3c further supported the proposed molecular structure. The resonance at δ 167.35 ppm was assigned to the azomethine C=N carbon, confirming the formation of the Schiff-base moiety. The signals observed between δ 114.38 and 151.13 ppm were attributed to the aromatic carbon atoms. The resonances at δ 56.12 and 54.40 ppm were assigned to the aliphatic carbon environments. Overall, the ^{13}C NMR data are consistent with the proposed structure of 3c.

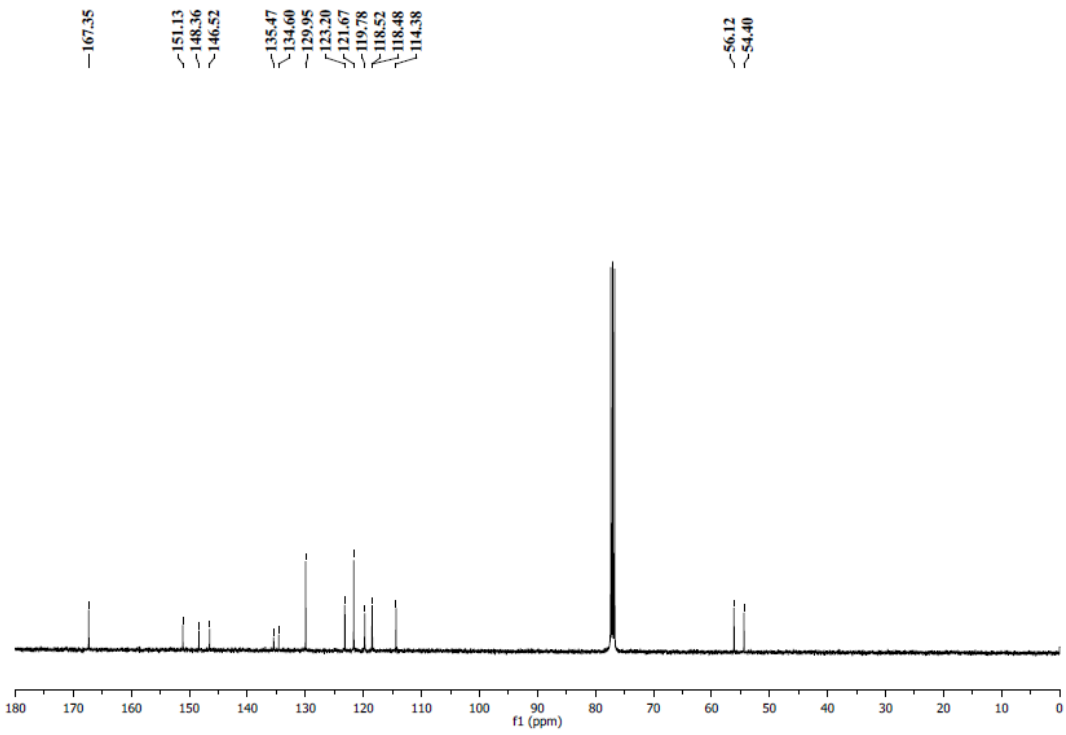


Figure 5 ^{13}C NMR spectrum of the ligand.

The ESI-MS spectrum of 3c exhibited a prominent molecular ion peak at m/z 342.045, corresponding to the protonated molecular ion $[M+H]^+$, confirming the expected molecular composition of the Schiff base ligand.

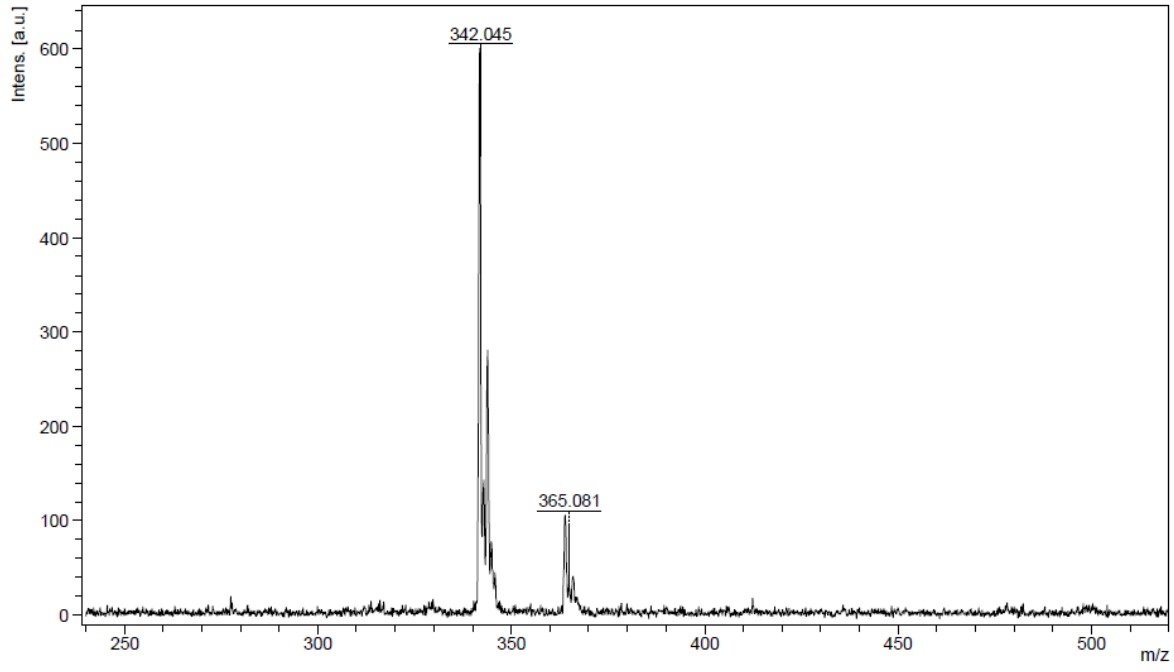


Figure 6 Mass spectrum of the ligand.

3.1. UV–Vis Spectral Properties of 3c and 3c-Ce

The UV–Vis absorption spectra of the Schiff-base ligand 3c and its Ce(III) complex, 3c-Ce, were recorded at a concentration of 1×10^{-4} M in methanol and DMSO. Comparison of the

spectra provides clear evidence that coordination of Ce(III) modifies the electronic environment of the ligand system. The absorption profiles of 3c and 3c-Ce exhibited pronounced differences in the UV region, indicating that complex formation affects the electronic transitions associated with the conjugated Schiff-base framework.

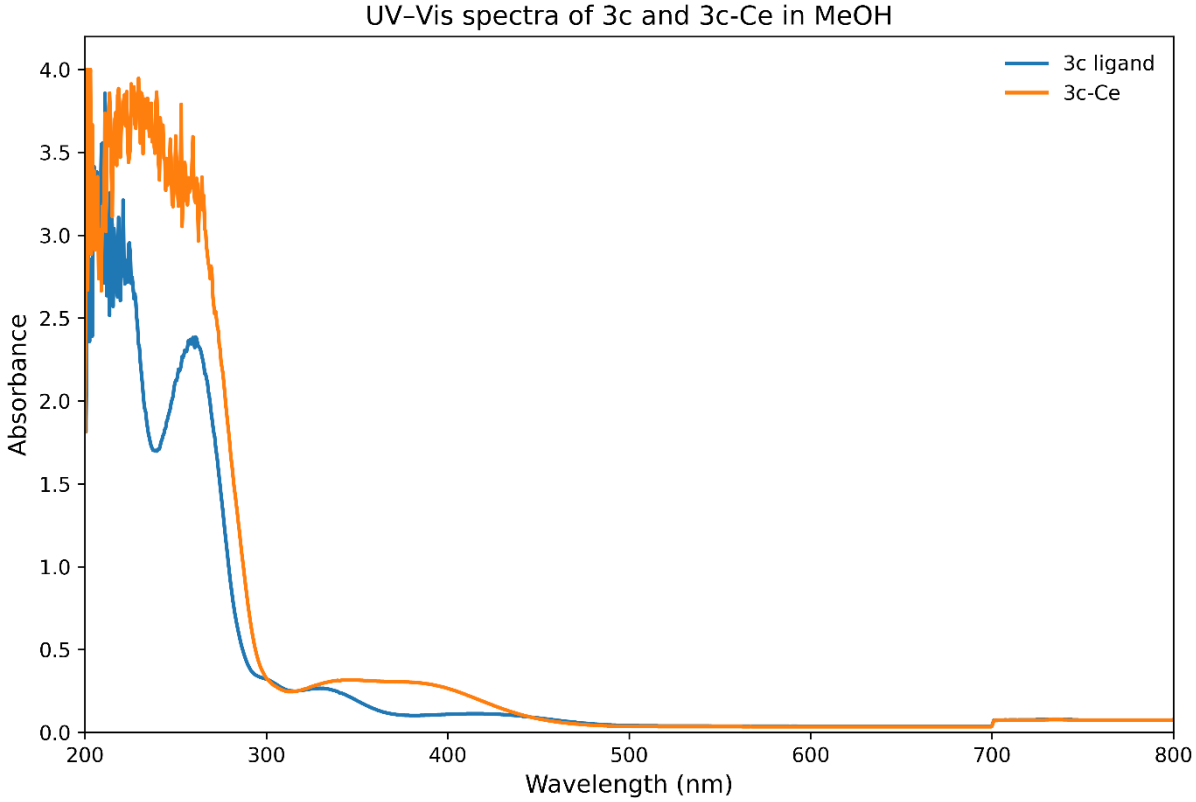


Figure 7 UV–Vis absorption spectra of 3c and 3c-Ce recorded in methanol at 1×10^{-4} M.

In methanol, the ligand 3c exhibited a prominent absorption region extending through the approximately 240–330 nm range, whereas the corresponding 3c-Ce complex displayed a modified absorption profile with a substantial increase in absorption intensity in the same spectral region. For 3c, an intense absorption maximum of approximately 2.39 was observed around 261 nm in the non-saturated region of the spectrum. In contrast, the Ce(III) complex showed considerably higher absorbance values over the UV region, with the detector response approaching the upper measurement limit in several wavelength intervals. Therefore, the saturated points were not considered as reliable intrinsic absorption maxima.

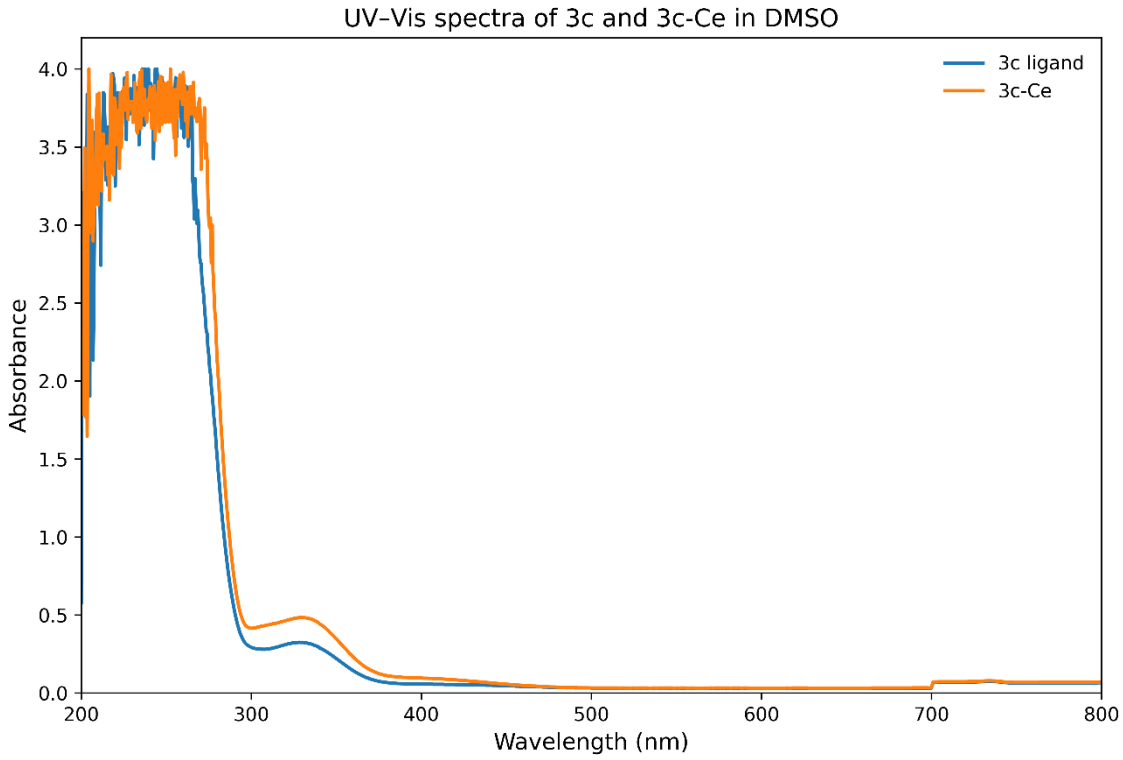


Figure 8 UV–Vis absorption spectra of 3c and 3c-Ce recorded in DMSO at 1×10^{-4} M.

A similar spectral modification was observed in DMSO. The 3c ligand displayed strong absorption in the UV region, particularly around 245–265 nm, while complexation with Ce(III) resulted in a significant alteration of the absorption profile and increased absorption intensity. The changes observed in both solvents demonstrate that coordination of Ce(III) influences the electronic structure of the ligand and the energy distribution of its allowed electronic transitions.

The spectral changes can be associated primarily with ligand-centered π→π* and n→π* transitions involving the aromatic/conjugated system and the azomethine functionality. Upon coordination, interaction of the donor atoms of the Schiff base with Ce(III) modifies the electron density distribution within the ligand framework. Such coordination-induced electronic perturbation can lead to changes in transition energies and absorption intensities. Since Ce(III) possesses a $4f^0$ electronic configuration, the observed UV–Vis changes are predominantly attributed to modifications of the ligand electronic structure rather than to conventional d–d transitions.

The UV–Vis results therefore provide spectroscopic support for the interaction of Ce(III) with the Schiff-base ligand and are consistent with the coordination behavior proposed on the basis of the FT-IR data.

3.2. Photoluminescence Properties of 3c and 3c-Ce

The photoluminescence measurements further demonstrated that Ce(III) coordination significantly modifies the photophysical behavior of the 3c ligand. The excitation and emission spectra were recorded in methanol and DMSO, allowing the effect of both metal coordination and solvent polarity on the emission properties to be evaluated.

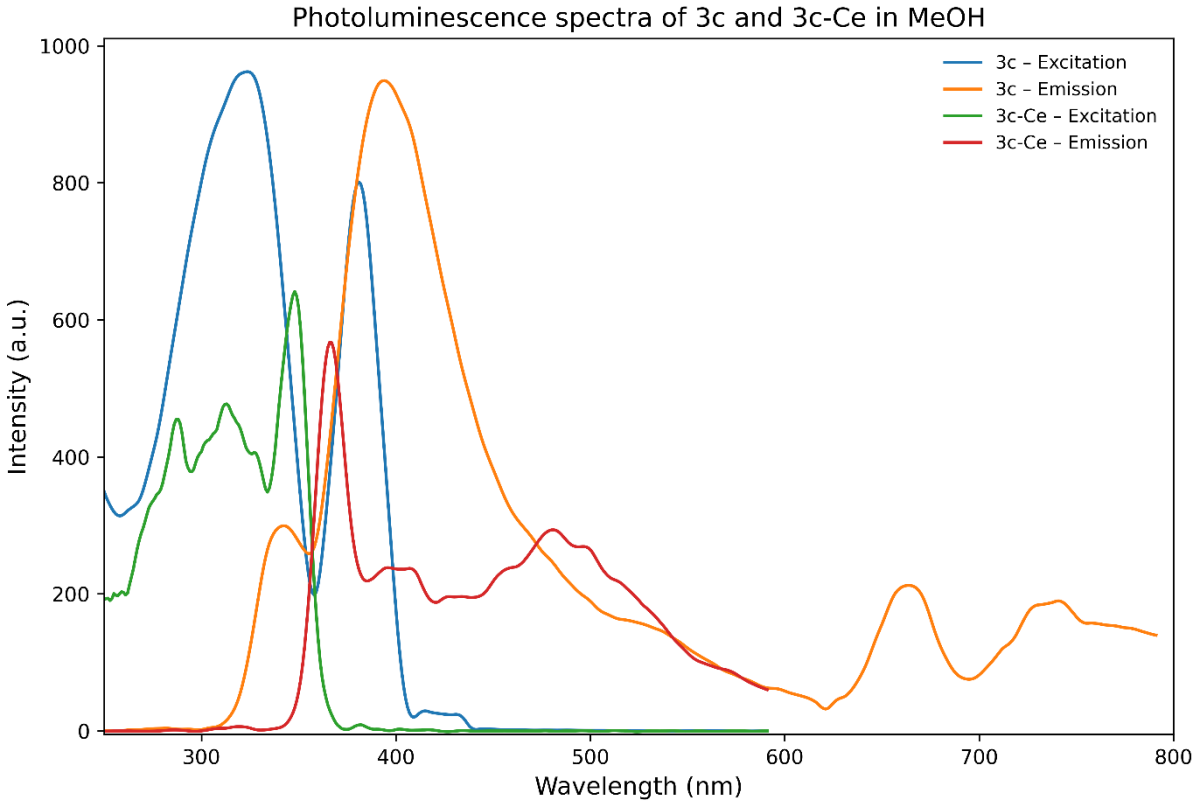


Figure 9 Excitation and emission spectra of 3c and 3c-Ce in methanol.

In methanol, the free ligand 3c exhibited an excitation maximum at 324 nm and an emission maximum at 344 nm, with a maximum emission intensity of 949.21. After coordination with Ce(III), the excitation maximum shifted to 348 nm, while the emission maximum moved to 366 nm. At the same time, the maximum emission intensity decreased to 567.60. Thus, complex formation produced a bathochromic shift of 24 nm in the excitation band and 22 nm in the emission band, accompanied by a substantial decrease in emission intensity.

The decrease in emission intensity following Ce(III) coordination indicates that the photophysical relaxation pathways of the ligand are altered upon metal binding. The reduction in fluorescence intensity may be associated with changes in the electronic configuration and conformational rigidity of the Schiff-base framework after coordination. In particular, coordination through the donor atoms can modify the distribution of the excited-state electron density and introduce additional non-radiative relaxation pathways. Consequently, the excited-state energy may be dissipated more efficiently through processes other than radiative emission.

A more pronounced modification was observed in DMSO. The free ligand 3c displayed an excitation maximum at 327 nm and an emission maximum at 397 nm, with an emission intensity of 894.28. Following Ce(III) coordination, the excitation maximum shifted markedly to 397 nm, whereas the emission maximum occurred at 414 nm. The emission intensity decreased to 238.14. Therefore, the Ce(III) complex exhibited a 70 nm shift in the excitation maximum and a 17 nm shift in the emission maximum relative to the free ligand.

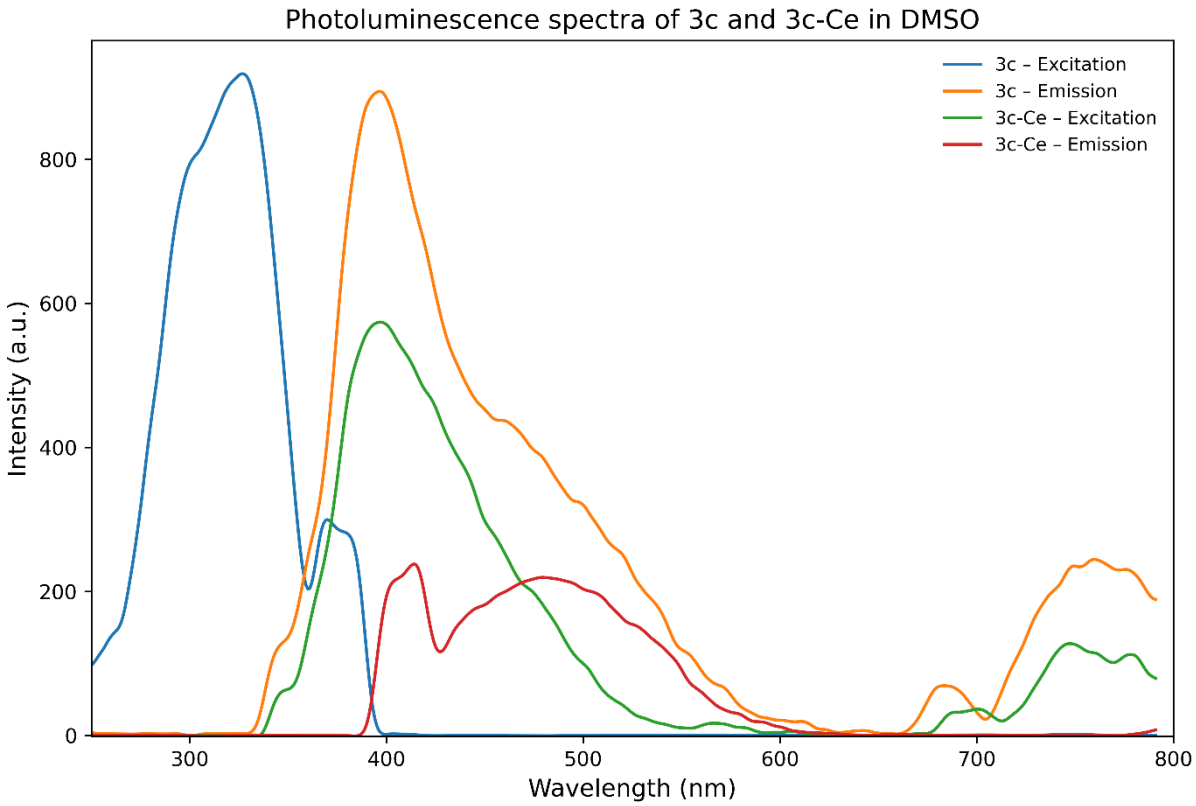


Figure 10 Excitation and emission spectra of 3c and 3c-Ce in DMSO.

The emission intensity decreased by approximately 40% in methanol and approximately 73% in DMSO upon formation of the Ce(III) complex. The stronger decrease observed in DMSO indicates that the solvent environment has an important influence on the excited-state behavior of the complex. DMSO, being a highly polar and strongly coordinating solvent, can alter the local electronic environment around the Schiff-base coordination site and consequently affect the balance between radiative and non-radiative relaxation processes.

The solvent-dependent behavior is also evident from comparison of the free ligand itself. The emission maximum of 3c changed from 344 nm in methanol to 397 nm in DMSO, corresponding to a 53 nm red shift. For 3c-Ce, the emission maximum changed from 366 nm in methanol to 414 nm in DMSO, corresponding to a 48 nm shift. These changes demonstrate that the photoluminescence of both the ligand and the Ce(III) complex is sensitive to solvent polarity and solvation effects.

Importantly, the excitation/emission behavior indicates that Ce(III) coordination does not simply introduce a new independent emission band; rather, it substantially perturbs the photophysical characteristics of the ligand-centered excited state. The observed red shifts in both excitation and emission maxima, together with the reduction in emission intensity, are consistent with coordination-induced changes in the electronic structure of the Schiff-base system.

Overall, the UV–Vis and photoluminescence results demonstrate that complex formation with Ce(III) produces significant changes in both the electronic absorption and excited-state

properties of 3c. The UV–Vis spectra show pronounced changes in absorption intensity and spectral distribution, whereas the photoluminescence measurements reveal solvent-dependent red shifts and emission quenching after Ce(III) coordination. These combined spectral changes support the formation of 3c-Ce and demonstrate that Ce(III) coordination substantially influences the electronic and photophysical characteristics of the Schiff-base ligand.

4. CONCLUSIONS

In this study, the Schiff-base ligand 3c and its Ce(III) complex, 3c-Ce, were synthesized and characterized by spectroscopic techniques. The FT-IR and NMR results confirmed the characteristic structural features of 3c, while the changes observed in the FT-IR spectrum supported Ce(III) coordination. The UV–Vis spectral results demonstrated changes in the electronic absorption characteristics upon complex formation, indicating an alteration of the ligand-centered electronic environment. Furthermore, the photoluminescence measurements revealed changes in the emission behavior of 3c after Ce(III) coordination, highlighting the influence of metal binding on the photophysical properties of the ligand. Overall, the combined FT-IR, NMR, UV–Vis, and photoluminescence results support the formation of 3c-Ce and demonstrate the effect of Ce(III) coordination on both the structural and photophysical properties of the Schiff-base system.

REFERENCES

[1] X. Liu, J. Hamon, Recent developments in penta- , hexa- and heptadentate Schiff base ligands and their metal complexes, Coord. Chem. Rev. 389 (2019) 94–118. https://doi.org/10.1016/j.ccr.2019.03.010.

[2] R. Kumar, K. Seema, D.K. Singh, P. Jain, B. Gautam, S.N. Kumar, Synthesis , antibacterial and antifungal activities of Schiff base rare earth metal complexes : a review of recent work, J. Coord. Chem. 76 (2023) 1065–1093. https://doi.org/10.1080/00958972.2023.2231608.

[3] H. Ferkous, A. Delimi, A. Djedouani, Y. Benguerba, Schiff bases and their metal Complexes : A review on the history , synthesis , and applications, 150 (2023). https://doi.org/10.1016/j.inoche.2023.110451.

[4] P.A. Scattergood, A. Sinopoli, P.I.P. Elliott, Photophysics and photochemistry of 1 , 2 , 3-triazole-based complexes, Coord. Chem. Rev. 350 (2017) 136–154. https://doi.org/10.1016/j.ccr.2017.06.017.

[5] Y.A. Belousov, A.A. Drozdov, I. V Taydakov, F. Marchetti, R. Pettinari, C. Pettinari, Lanthanide azolecarboxylate compounds : Structure , luminescent properties and applications, Coord. Chem. Rev. 445 (2021) 214084. https://doi.org/10.1016/j.ccr.2021.214084.

[6] J.G. Bünzli, Review : Lanthanide coordination chemistry : from old concepts to coordination polymers Review : Lanthanide coordination chemistry : from old, J. Coord. Chem. 67 (2014) 3704–3731. https://doi.org/10.1080/00958972.2014.957201.

[7] S.A. Cotton, P.R. Raithby, Systematics and surprises in lanthanide coordination chemistry, Coord. Chem. Rev. 340 (2017) 220–231. https://doi.org/10.1016/j.ccr.2017.01.011.

[8] N.A. Piro, J.R. Robinson, P.J. Walsh, E.J. Schelter, The electrochemical behavior of cerium (III / IV) complexes : Thermodynamics , kinetics and applications in synthesis, Coord. Chem. Rev. 260 (2014) 21–36. https://doi.org/10.1016/j.ccr.2013.08.034.

[9] Y. So, W. Leung, Recent advances in the coordination chemistry of cerium (IV) complexes, Coord. Chem. Rev. 340 (2017) 172–197. https://doi.org/10.1016/j.ccr.2016.12.009.

[10] A. Farahmand, S. Gholizadeh, J. Soleimannejad, A.J. Blake, Structural diversity and applications of Ce (III) -based coordination polymers, Coord. Chem. Rev. 419 (2020) 213392. https://doi.org/10.1016/j.ccr.2020.213392.

[11] M.A. Palafox, N.P. Belskaya, L. Todorov, Molecular properties of a triazole – Ce (III) complex with antioxidant activity : structure , spectroscopy , and relationships with related derivatives . In fl uence of the ligands in the complex, (2024). https://doi.org/10.3389/fchem.2024.1450106.
[12] G. Singh, G. Singh, H. Kaur, G. Kaur, G. Kaur, H. Singh, J. Singh, sensor : spectroscopic , theoretical , and in silico study, Polyhedron 282 (2025) 117774. https://doi.org/10.1016/j.poly.2025.117774.
[13] M. Çelik, Ö. Güngör, M. Köse, NN-type 1 , 2 , 3-triazole ligands and their transition metal complexes : Synthesis , structure , and DNA binding, 1359 (2026). https://doi.org/10.1016/j.molstruc.2026.145483.
[14] M. Çelik, S. Çelik, M. Köse, 1 , 2 , 3-Triazole ligand and its Cu (II), Zn (II), Pt (II), Ru (II) complexes : synthesis , anticancer and antibacterial properties, J. Coord. Chem. 0 (2026) 1–14. https://doi.org/10.1080/00958972.2026.2649328.
[15] J. Devi, B. Taxak, B. Kumar, S. Rani, studies †, (2025) 7167–7178. https://doi.org/10.1039/d5dt00274e.

KURUMSAL SİSTEM ODALARINDA IoT TABANLI ORTAM İZLEME VERİLERİNİN ANALİZİ: ENERJİ VERİMLİLİĞİ, ANOMALİ TESPİTİ VE VERİ KALİTESİ

Yüksek Lisans Öğrencisi Yunus DOĞAN
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bilgisayar Anabilim Dalı
ORCID ID: 0009-0008-3219-4168
Dr. Öğr. Üyesi Cemal Hakan DİKMEN
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Dinar Meslek Yüksekokulu
ORCID ID: 0000-0002-3708-9091

ÖZET
Kurumsal ağlarda sistem odaları, sunucu ve ağ cihazlarının kesintisiz çalışması için uygun sıcaklık, nem ve enerji koşullarının sürekli izlenmesini gerektirmektedir. Bu amaçla kullanılan Nesnelerin İnterneti (IoT) tabanlı ortam izleme cihazları giderek yaygınlaşmakta, ancak ürettikleri verilerin enerji verimliliği ve veri kalitesi açısından değerlendirildiği saha çalışmaları sınırlı kalmaktadır. Bu çalışmada bir tekstil üretim işletmesinin sistem odasında kullanılan ticari bir IoT ortam izleme platformunun verileri analiz edilmiştir. 28 Ağustos – 29 Eylül 2026 tarihleri arasındaki 32 günlük dönemde dakikalık çözünürlükte toplanan 46.033 kayıt; sıcaklık, bağıl nem, çiğ noktası, hava kalitesi, şebeke voltajı ve frekansı ile hareket ve kapı sensörü verilerini kapsamaktadır. Veriler Python ile işlenmiş; tanımlayıcı istatistikler, ASHRAE önerilen çalışma aralıklarına göre eşik analizi, olay tespiti ve sensörler arası zamansal ilişki analizi uygulanmıştır. Veri kapsama oranı %99,87 olarak bulunmuştur. Ortalama sıcaklık 17,2 °C olup ölçüm süresinin %94,5'inde önerilen alt sınır olan 18 °C'nin altında kalmıştır; bu durum odanın gereğinden fazla soğutulduğuna ve enerji tasarrufu potansiyeline işaret etmektedir. Hareket algılamalarıyla eş zamanlı sıcaklık ve hava kalitesi değişimleri, odaya yapılan fiziksel müdahalelerin ortam verilerinden izlenebildiğini göstermiştir. Dönem sonunda sıcaklığın 20,9 °C'ye, bağıl nemin %70,8'e yükseldiği ve bu artışın cihazın bağlantı kopmalarıyla aynı zaman dilimine denk geldiği bir anomali tespit edilmiştir. Veri kalitesi açısından ise kapı sensörünün, 30 hareket algılamasına karşın dönem boyunca hiç tetiklenmediği, voltaj değerlerinin olağan dışı dar bir aralıkta (216–218 V) kaldığı, dışa aktarılan zaman damgalarında öğleden önce/sonra bilgisinin bulunmadığı ve ikinci bir sistem odasındaki cihazın erişilemez durumda olduğu belirlenmiştir. Bulgular, IoT tabanlı ortam izlemenin enerji verimliliği ve erken uyarı açısından önemli katkı sağladığını, ancak sensör doğrulaması ve veri kalitesi kontrolleri yapılmadan verilere tek başına güvenilmemesi gerektiğini ortaya koymaktadır.
Anahtar Kelimeler: Nesnelerin İnterneti, Ortam İzleme, Sistem Odası, Enerji Verimliliği, Veri Kalitesi

ANALYSIS OF IoT-BASED ENVIRONMENTAL MONITORING DATA IN ENTERPRISE SERVER ROOMS: ENERGY EFFICIENCY, ANOMALY DETECTION AND DATA QUALITY

ABSTRACT
Server rooms in enterprise networks require continuous monitoring of temperature, humidity and power conditions to keep servers and network devices running without interruption. Internet of Things (IoT) based environmental monitoring devices used for this purpose are becoming widespread, yet field studies that evaluate their data in terms of energy efficiency and data quality remain limited. This study analyzes data from a commercial IoT environmental

monitoring platform installed in the server room of a textile manufacturing company. Over a 32-day period between 28 August and 29 September 2026, 46,033 records were collected at one-minute resolution, covering temperature, relative humidity, dew point, air quality, mains voltage and frequency, as well as motion and door sensor data. The data were processed with Python using descriptive statistics, threshold analysis against ASHRAE recommended operating ranges, event detection and temporal cross-sensor analysis. Data coverage was 99.87%. The average temperature was 17.2 °C and stayed below the recommended lower limit of 18 °C for 94.5% of the period, indicating overcooling and a potential for energy savings. Temperature and air quality changes coinciding with motion detections showed that physical interventions in the room can be traced in the environmental data. At the end of the period, an anomaly was detected in which temperature rose to 20.9 °C and relative humidity to 70.8%, coinciding with connection losses of the device. Regarding data quality, the door sensor was never triggered despite 30 motion detections, voltage values remained in an unusually narrow range (216–218 V), exported timestamps lacked AM/PM information, and the device in a second server room was unreachable. The findings show that IoT-based environmental monitoring contributes significantly to energy efficiency and early warning, but that its data should not be relied upon alone without sensor validation and data quality checks.
Keywords: Internet of Things, Environmental Monitoring, Server Room, Energy Efficiency, Data Quality

1. GİRİŞ

Kurumsal bilgi sistemlerinin sürekliliği, sunucu, depolama ve ağ cihazlarının barındırıldığı sistem odalarının fiziksel koşullarına doğrudan bağlıdır. Yüksek sıcaklık donanım arızası riskini artırırken, gereğinden düşük sıcaklık soğutma sistemlerinin fazladan enerji tüketmesine yol açar. Nemin önerilen sınırların dışına çıkması ise yoğuşma, korozyon ya da statik elektrik riskini beraberinde getirir. Bu nedenle sistem odalarında sıcaklık, nem, enerji ve fiziksel erişim koşullarının sürekli izlenmesi, bilgi teknolojileri (BT) altyapısının yönetiminde temel gereksinimlerden biri kabul edilmektedir (ASHRAE, 2021).

Nesnelerin İnterneti (IoT), fiziksel ortamdan veri toplayan ve bu veriyi ağ üzerinden merkezi sistemlere aktaran cihazları tanımlamaktadır (Atzori vd., 2010; Gubbi vd., 2013). Sistem odalarında kullanılan IoT tabanlı ortam izleme cihazları, birden fazla sensörü tek bir platformda birleştirerek dakikalık çözünürlükte veri üretebilmekte ve eşik aşımlarında uyarı gönderebilmektedir. Bu cihazlar büyük veri merkezlerinin yanı sıra orta ölçekli işletmelerin tek odalı BT altyapılarında da yaygınlaşmaktadır.

Ancak bu cihazların ürettiği verinin nasıl kullanıldığı, çoğu zaman anlık gösterge panelleri ve eşik alarmlarıyla sınırlı kalmaktadır. Uzun süreli kayıtların enerji verimliliği açısından değerlendirilmesi ya da verinin kendisinin doğruluk ve bütünlük açısından sorgulanması, işletme ölçeğindeki uygulamalarda nadiren yapılmaktadır. Oysa IoT verilerinde eksik, hatalı ya da tutarsız kayıtların sık görüldüğü literatürde ortaya konmuştur (Karkouch vd., 2016; Teh vd., 2020).

Bu çalışmanın amacı, bir üretim işletmesinin sistem odasında çalışan ticari bir IoT ortam izleme platformunun 32 günlük verilerini analiz ederek aşağıdaki üç soruya yanıt aramaktır:

1. Sistem odasının ısıl koşulları önerilen çalışma aralıklarıyla ne ölçüde uyumludur ve bu durum enerji verimliliği açısından ne ifade etmektedir?
2. Sensör verileri birlikte değerlendirildiğinde fiziksel müdahaleler ve olağan dışı durumlar tespit edilebilmekte midir?
3. Platformun ürettiği veri, doğruluk, bütünlük ve tutarlılık açısından ne ölçüde güvenilirdir?

Çalışmanın katkısı, bu üç boyutu gerçek bir işletme ortamından elde edilen yüksek çözünürlüklü veri üzerinde birlikte ele almasıdır. Aynı işletmede kullanılan ortam izleme altyapısının kurulumu, ağ segmentasyonu ve güvenlik yapılandırması daha önce Doğan (2025) tarafından ele alınmış, kurumsal IoT güvenlik altyapısının GNS3 ortamında modellenmesi ise Doğan (2026) çalışmasında özetlenmiştir; bu çalışma ise söz konusu altyapının ürettiği uzun dönemli ölçüm verisinin analizine odaklanmakta ve önceki çalışmalardan farklı bir dönem, veri seti ve araştırma sorusu içermektedir.

1.1. IoT Tabanlı Ortam İzleme

IoT mimarileri genel olarak algılama, iletim ve uygulama katmanlarından oluşmaktadır; algılama katmanındaki sensörler fiziksel büyüklükleri ölçerek ağ katmanı üzerinden izleme ve karar destek uygulamalarına iletmektedir (Al-Fuqaha vd., 2015; Gubbi vd., 2013). Ortam izleme, bu mimarinin en yaygın uygulama alanlarından biridir ve akıllı binalardan endüstriyel tesislere kadar geniş bir alanda kullanılmaktadır (Stojkoska ve Trivodaliev, 2017). Sistem odaları özelinde ise sıcaklık, nem, hava kalitesi, enerji ve kapı/hareket sensörlerini tek bir cihazda birleştiren çözümler, küçük ve orta ölçekli işletmeler için düşük maliyetli bir izleme olanağı sunmaktadır.

1.2. Sistem Odalarında Isıl Koşullar ve Enerji Verimliliği

Veri merkezleri ve sistem odaları için en yaygın başvuru kaynağı olan ASHRAE TC 9.9 kılavuzu, A1–A4 sınıfı BT donanımları için önerilen çalışma aralığını 18–27 °C sıcaklık ve –9 °C ile 15 °C arası çiğ noktası olarak tanımlamakta; bağıl nemin %70'i, ortamda korozyona yol açan kirleticiler bulunması durumunda ise %50'yi aşmaması gerektiğini belirtmektedir (ASHRAE, 2021). Kılavuzun önerilen aralığı zaman içinde genişletmesinin temel gerekçesi, daha yüksek çalışma sıcaklıklarının soğutma enerjisini azaltma potansiyelidir.

Soğutma sistemleri, veri merkezlerinde BT yükünden sonra en büyük enerji tüketim kalemini oluşturmaktadır (Capozzoli ve Primiceri, 2015; Ni ve Bai, 2017). Patterson (2008), veri merkezi sıcaklığının artırılmasının soğutma enerjisi üzerindeki etkisini incelemiş ve sıcaklık ayar noktasının enerji verimliliğinde belirleyici bir parametre olduğunu göstermiştir. El-Sayed vd. (2012) ise büyük ölçekli saha verileriyle, önerilen aralık içinde kalan daha yüksek sıcaklıkların donanım güvenilirliğine etkisinin sanılandan sınırlı olduğunu ortaya koymuştur. Küresel veri merkezi enerji tüketiminin önemli bir büyüklüğe ulaştığı dikkate alındığında (Masanet vd., 2020), tek odalı kurumsal sistemlerde bile gereksiz soğutmanın azaltılması hem maliyet hem de sürdürülebilirlik açısından anlam taşımaktadır (Rong vd., 2016).

1.3. IoT Verilerinde Veri Kalitesi

Veri kalitesi, verinin kullanım amacına uygunluğu olarak tanımlanmakta ve doğruluk, bütünlük, tutarlılık ve zamanlılık gibi boyutlarla ifade edilmektedir (Wang ve Strong, 1996). Karkouch vd. (2016), IoT ortamlarında sensör arızaları, enerji kısıtları, iletişim kopmaları ve kalibrasyon sorunları nedeniyle veri kalitesinin özellikle kırılgan olduğunu vurgulamıştır. Teh vd. (2020) ise sensör verilerindeki hata türlerini aykırı değerler, eksik veri, sapma (bias), kayma (drift), gürültü ve sabit değer (constant value) olarak sınıflandırmıştır. Aykırı ve olağan dışı durumların tespiti için geliştirilen yöntemler Chandola vd. (2009) tarafından kapsamlı biçimde derlenmiştir. Bu çalışmada söz konusu sınıflandırmalar, gerçek bir ortam izleme platformunun verisine uygulanmıştır.

2. YÖNTEM

2.1. Çalışma Ortamı

Çalışma, bir tekstil üretim işletmesinin merkez sistem odasında yürütülmüştür. Sistem odasında işletmenin sunucu, depolama ve ağ cihazları bulunmakta ve oda, sabit kapasiteli bir klima sistemiyle soğutulmaktadır. İşletmede ikinci bir sistem odası da bulunmaktadır. Kurumsal

gizlilik gereği işletme adı ve ağ ayrıntıları çalışmada yer almamaktadır.

2.2. İzleme Platformu ve Ölçülen Parametreler

Odada ticari bir IoT ortam izleme platformuna bağlı çok sensörlü bir izleme cihazı kullanılmaktadır. Cihaz, iklimsel, çevresel ve enerjisel büyüklükleri dakikada bir ölçerek web tabanlı yönetim paneline aktarmakta; aynı platform, odadaki bir IP kameranın hareket algılama bilgisini ve cihazın bağlantı durumunu da kaydetmektedir. Platformun kurulum aşaması, VLAN ile yalıtılması ve alternatif bir cihazla karşılaştırılması yazarın önceki çalışmasında raporlanmıştır (Doğan, 2025). Çalışmada kullanılan parametreler Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan parametreler

Grup	Parametre	Birim	Veri türü
İklimsel	Sıcaklık	°C	Sürekli
İklimsel	Bağıl nem	%	Sürekli
İklimsel	Çiğ noktası	°C	Sürekli (hesaplanan)
Çevresel	Hava kalitesi	PPM	Sürekli
Çevresel	Kapı girişi	Evet/Hayır	İkili
Çevresel	Kamera hareket algılaması	Evet/Hayır	İkili
Çevresel	Röle durumu	Açık/Kapalı	İkili
Enerjisel	Şebeke voltajı	V	Sürekli
Enerjisel	Şebeke frekansı	Hz	Sürekli
Durum	Aktiflik ve bağlantı	Evet/Hayır	İkili

2.3. Veri Toplama ve Ön İşleme

Veriler, platformun raporlama modülünden 28 Ağustos 2026 08:00 ile 29 Eylül 2026 08:12 arasını kapsayacak şekilde Excel biçiminde dışa aktarılmıştır. Dışa aktarılan dosyada saat bilgisinin 12 saatlik biçimde, ancak öğleden önce/sonra (ÖÖ/ÖS) göstergesi olmadan yer aldığı görülmüştür. Bu biçimde doğrudan zaman damgasına dönüştürülen kayıtların 22.505'i (%48,9) başka bir kayıtla aynı zamanı paylaşmaktadır. Sorunu gidermek için kayıtların dosyada azalan zaman sırasıyla yer alması kullanılmış; her kayıt için ÖÖ ve ÖS olmak üzere iki aday zaman üretilmiş ve bir önceki kayda eşit ya da ondan önce gelen en yakın aday seçilmiştir. Bu yöntemle çakışan kayıt sayısı 4'e inmiş ve ardışık kayıtlar arasındaki sürenin neredeyse tamamı bir dakikaya eşitlenmiştir. Çakışan kayıtlar veri setinden çıkarılmıştır.

2.4. Analiz Yöntemleri

Veriler Python programlama dilinde pandas (McKinney, 2010) ile işlenmiş, şekiller Matplotlib (Hunter, 2007) ile üretilmiştir. Analiz dört aşamada yürütülmüştür:

1. Veri bütünlüğü analizi: beklenen ve gerçekleşen kayıt sayıları ile eksik ve boş değerler.
2. Tanımlayıcı istatistikler: ortalama, standart sapma, en küçük, ortanca ve en büyük değerler.
3. Eşik analizi: sıcaklık, bağıl nem ve çiğ noktasının ASHRAE (2021) önerilen aralığına uygunluğu.
4. Olay tespiti ve sensörler arası zamansal ilişki analizi.

Olay tespitinde eşik aşan ardışık dakikalar tek bir olay olarak gruplanmış; hareket algılamaları, bağlantı kopmaları ve ortam değişkenlerindeki ani değişimler aynı zaman ekseninde incelenmiştir. Son olarak veri kalitesi, Wang ve Strong (1996) ile Teh vd. (2020) tarafından tanımlanan boyut ve hata türlerine göre değerlendirilmiştir.

3. ARAŞTIRMA VE BULGULAR

3.1. Veri Bütünlüğü ve Tanımlayıcı İstatistikler

İncelenen 32 günlük dönemde dakikalık çözünürlükte 46.093 kayıt beklenirken 46.033 kayıt elde edilmiş ve veri kapsama oranı %99,87 olarak hesaplanmıştır. Eksik 60 dakikanın büyük

bölümü tek dakikalık boşluklardan oluşmakta; en uzun kesinti 9 Eylül'de 5 dakika sürmektedir. Ayrıca cihazın bağlantısının koptuğu 28 dakikada ölçüm değerleri boş kaydedilmiştir. Ortam değişkenlerine ait tanımlayıcı istatistikler Çizelge 2'de verilmiştir.

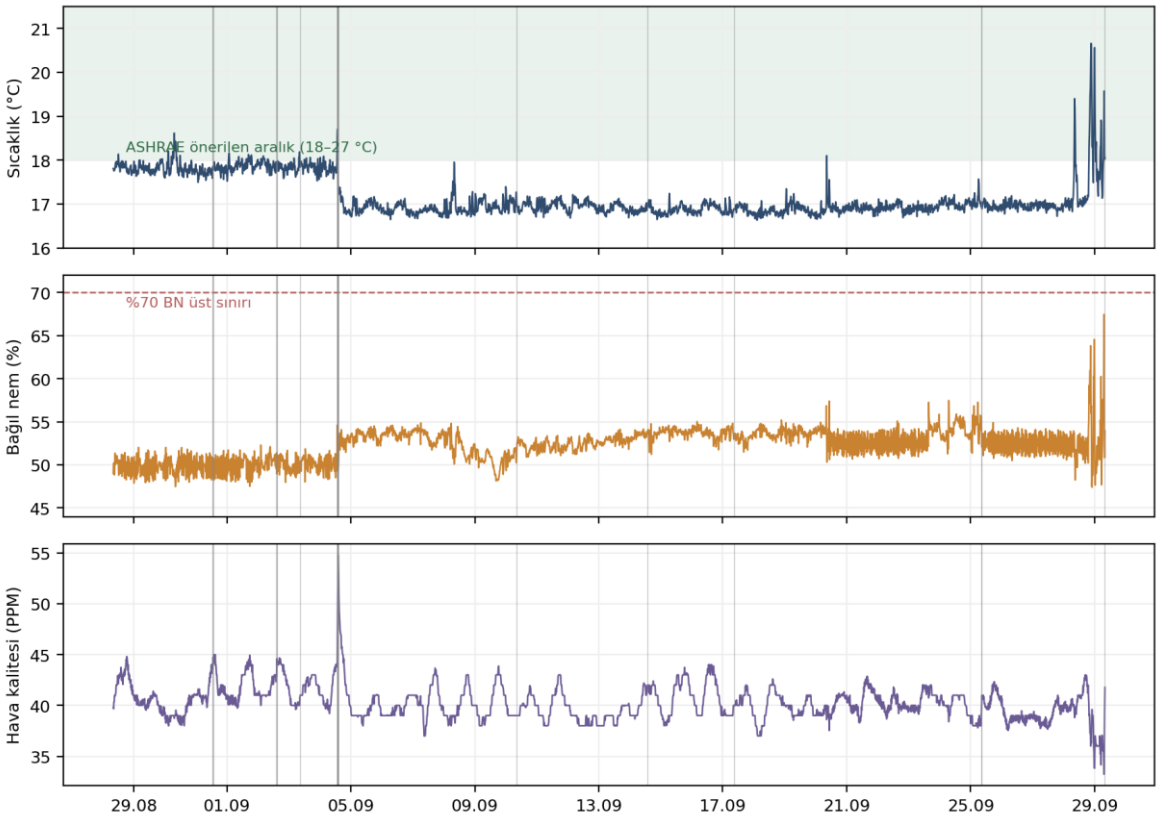
Çizelge 2. Ortam değişkenlerine ait tanımlayıcı istatistikler (n = 46.005)

Değişken	Ort.	SS	Min.	Medyan	Maks.
Sıcaklık (°C)	17,16	0,46	16,5	17,0	20,9
Bağıl nem (%)	52,23	2,01	43,6	52,5	70,8
Çiğ noktası (°C)	7,28	0,51	5,8	7,3	15,1
Hava kalitesi (PPM)	40,28	1,72	32	40	55
Voltaj (V)	216,56	0,58	216	217	218
Frekans (Hz)	50,00	0,03	50	50	51

Sıcaklık ve nemin standart sapmalarının düşük olması, odanın büyük ölçüde kararlı koşullarda çalıştığını göstermektedir. Bununla birlikte her iki değişkenin maksimum değerleri ortalamanın çok üzerindedir; bu uç değerlerin hemen tamamı dönem sonundaki anomali dönemine aittir (Bölüm 3.4). Bağıl nem ve çiğ noktası serilerinde kararlı dönemlerde düzenli ve kısa periyotlu salınımlar gözlenmiştir; bu salınımlar klima ünitesinin açılıp kapanma döngülerine işaret ediyor olabilir.

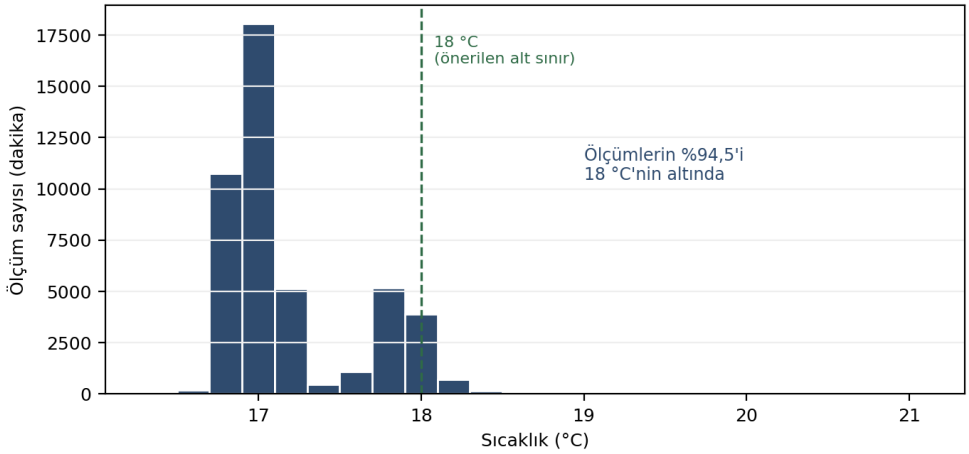
3.2. Isıl Koşulların Önerilen Aralıklara Uygunluğu

Şekil 1'de sıcaklık, bağıl nem ve hava kalitesinin 32 günlük seyri 15 dakikalık ortalamalarla gösterilmiştir. Sıcaklık tüm dönem boyunca 27 °C üst sınırının oldukça altında kalmış; buna karşın ölçümlerin %94,5'i önerilen alt sınır olan 18 °C'nin altında gerçekleşmiştir (Şekil 2). Çizelge 3'te önerilen aralığa uygunluk özetlenmiştir.



Şekil 1. Sistem odası ortam verilerinin 32 günlük seyri (15 dakikalık ortalama; gri dikey

çizgiler hareket algılamalarını göstermektedir)



Şekil 2. Dakikalık sıcaklık ölçümlerinin dağılımı ve ASHRAE önerilen alt sınırı

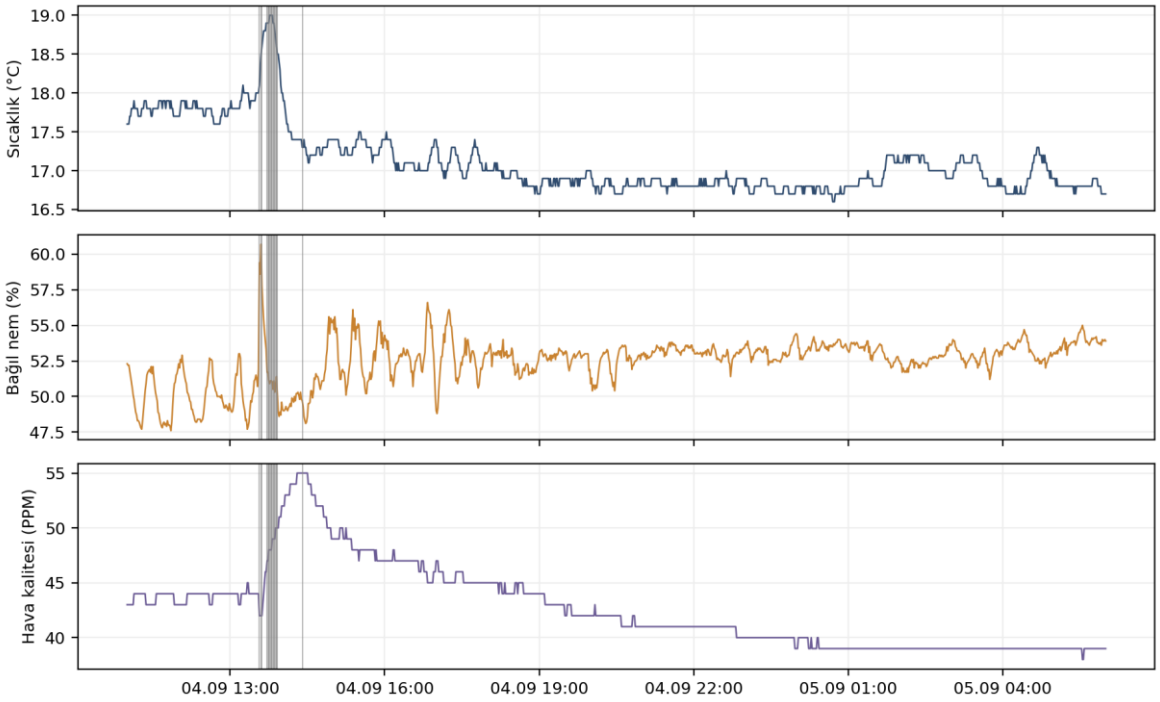
Çizelge 3. Isıl koşulların ASHRAE (2021) önerilen aralığına uygunluğu

Ölçüt	Önerilen değer	Aralık dışı süre	Oran
Sıcaklık alt sınırı	≥ 18 °C	43.467 dk	%94,5
Sıcaklık üst sınırı	≤ 27 °C	0 dk	%0
Çiğ noktası üst sınırı	≤ 15 °C	1 dk	< %0,01
Bağıl nem üst sınırı	≤ %70	1 dk	< %0,01
Bağıl nem (kirletici ortam)	≤ %50	39.539 dk	%85,9

Sıcaklık dağılımı iki kümeli bir yapı göstermektedir: 4 Eylül öncesinde sıcaklık yaklaşık 17,8 °C civarında seyrederken, bu tarihten sonra yaklaşık 16,9 °C düzeyine inmiş ve dönem sonuna kadar bu düzeyde kalmıştır. Her iki düzey de önerilen alt sınırın altındadır. Bu bulgu, odanın BT donanımının gereksinim duyduğundan daha fazla soğutulduğunu ve klima ayar noktasının yükseltilmesiyle soğutma enerjisinde tasarruf sağlanabileceğini göstermektedir. Bağıl nem ise ortalama %52,2 düzeyiyle genel üst sınır olan %70'in altında kalmaktadır; ancak ortamda korozif kirleticilerin varlığı durumunda geçerli olan %50 sınırının dönemin %85,9'unda aşıldığı görülmektedir. Bu nedenle nem için hangi sınırın geçerli olduğunun belirlenmesi gerekmektedir.

3.3. Sensörler Arası İlişki: Fiziksel Müdahalelerin İzlenmesi

Kamera hareket sensörü dönem boyunca 9 farklı günde toplam 30 dakikada hareket algılamıştır. Bu algılamaların 17'si 4 Eylül 13:34–14:24 aralığında yoğunlaşmaktadır. Şekil 3'te görüldüğü üzere bu aralıkta sıcaklık kısa süreliğine 19,0 °C'ye yükselmiş, bağıl nem %60'ın üzerine çıkmış ve hava kalitesi değeri olağan düzeyi olan yaklaşık 40 PPM'den 55 PPM'e ulaşarak ancak yaklaşık 10 saat içinde eski düzeyine dönmüştür. Müdahalenin ardından sıcaklık kalıcı olarak yaklaşık 0,9 °C düşmüş (17,84 °C'den 16,92 °C'ye) ve bağıl nemin salınım örüntüsü değişmiştir.

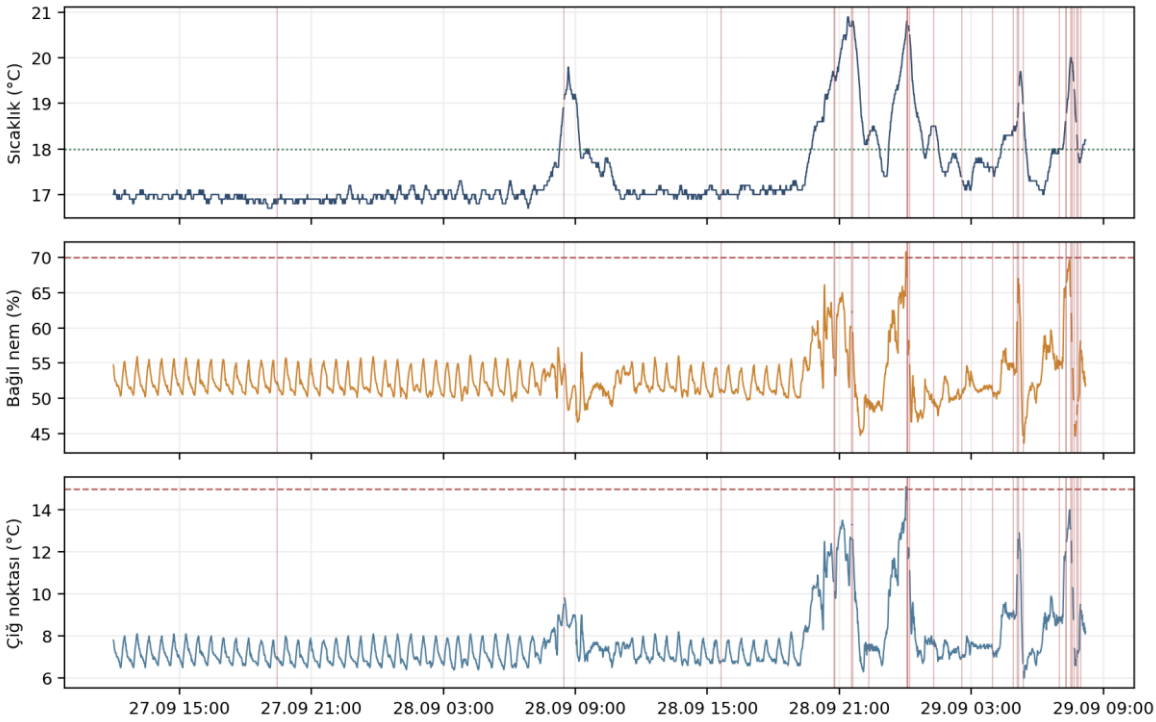


Şekil 3. 4 Eylül müdahalesi sırasında ve sonrasında ortam değişkenleri (gri dikey çizgiler hareket algılamalarını göstermektedir)

Bu örüntü, odaya fiziksel olarak girildiğini, bu süre içinde kapının açık kalması ya da ortamda çalışılması nedeniyle hava değişiminin gerçekleştiğini ve ardından soğutma ayarlarının değiştirildiğini düşündürmektedir. Olayın kesin nedeni işletme kayıtlarıyla doğrulanmamış olmakla birlikte, bulgu, birden fazla sensörün birlikte değerlendirilmesiyle fiziksel müdahalelerin ve bunların ortam üzerindeki kalıcı etkilerinin veriden izlenebildiğini göstermektedir.

3.4. Anomali Dönemi

Dönemin son 24 saatinde (28 Eylül 08:00 – 29 Eylül 08:12) ortam koşullarında belirgin bir bozulma tespit edilmiştir (Şekil 4). Önceki üç haftada standart sapması 0,14 °C olan sıcaklık bu dönemde tekrarlayan tepeler halinde 20,9 °C'ye yükselmiş; bağıl nem %70,8'e, çiğ noktası 15,1 °C'ye ulaşarak önerilen üst sınırları kısa süreliğine aşmıştır. Tüm dönemde bağıl nemin %60'ı aştığı 123 dakikanın 112'si bu 24 saatlik aralıkta yer almaktadır.



Şekil 4. Anomali dönemi (27 Eylül 12:00 – 29 Eylül 08:12); kırmızı dikey çizgiler cihazın bağlantı kopmalarını göstermektedir

Aynı dönemde izleme cihazının bağlantısı 27 dakika boyunca kopmuştur; tüm dönemdeki 28 bağlantı kopmasının 27'si bu aralıktadır ve kopmaların önemli bir kısmı sıcaklık ve nem tepelerine denk gelmektedir. Sıcaklık ve nemin birlikte yükselip düşmesi, soğutma sisteminin düzensiz çalıştığına ya da devreden çıkıp yeniden devreye girdiğine işaret etmektedir. Bağlantı kopmalarının aynı zaman dilimine yoğunlaşması ise ya ortak bir elektrik ya da ağ sorununa ya da izleme cihazının kendisinin bu koşullardan etkilendiğine işaret edebilir. Her iki durumda da izleme verisinin, sorunun en kritik anlarında eksik kaldığı görülmektedir.

3.5. Veri Kalitesi Bulguları

Analiz sırasında tespit edilen veri kalitesi sorunları, ilgili kalite boyutu ve hata türüyle birlikte Çizelge 4'te özetlenmiştir.

Çizelge 4. Tespit edilen veri kalitesi sorunları

Bulgu	Kanıt	Kalite boyutu / hata türü
Kapı sensörü hiç tetiklenmemiştir	30 hareket algılamasına karşın 32 günde 0 "Evet"	Doğruluk / sabit değer
Voltaj olağan dışı dar aralıktadır	Yalnızca 216, 217, 218 V; SS = 0,58 V	Doğruluk / sabit değer şüphesi
Kısa süreli 51 Hz ölçümleri	20 Eylül sabahı 49 dk; diğer günlerde yok	Doğruluk / aykırı değer
Zaman damgası biçimi hatalıdır	ÖÖ/ÖS yok; kayıtların %48,9'u çakışıyor	Tutarlılık / biçim
Kritik anlarda veri kaybı	28 bağlantı kopmasının 27'si anomali döneminde	Bütünlük / eksik veri
İkinci sistem odası izlenmemektedir	İkinci odadaki cihaz erişilemez durumda	Bütünlük / kapsam

Kapı sensörünün, odaya girildiğini açıkça gösteren hareket algılamalarına rağmen 32 gün boyunca bir kez bile tetiklenmemesi, sensörün arızalı ya da yanlış yapılandırılmış olduğunu

göstermektedir. Voltaj değerlerinin yalnızca üç farklı tam sayı değer alması ve nominal 230 V'un yaklaşık %5,8 altında sabit kalması da dikkat çekicidir. Ölçülen değer IEC 60038 standardında tanımlanan ±%10 tolerans aralığında kalmakla birlikte (IEC, 2009), şebeke voltajının bir ay boyunca bu denli dar bir aralıkta kalması olağan değildir. Bu durum ölçümün şebekeden değil bir kesintisiz güç kaynağı ya da regülatör çıkışından alınıyor olabileceğini veya sensörün çözünürlük ve kalibrasyon sınırlarını yansıttığını düşündürmektedir. 20 Eylül sabahı gözlenen 51 Hz değerleri ise ulusal şebeke için beklenmeyen bir sapmadır. Aynı saatlerde nemin de yükselmiş olması, bu sürede jeneratör testi gibi bir enerji olayının yaşanmış olabileceğini akla getirmekle birlikte, bu çıkarım işletme kayıtlarıyla doğrulanmalıdır.

4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Bulgular, IoT tabanlı ortam izleme verisinin yalnızca anlık alarm üretmek için değil, işletme kararlarını destekleyecek analizler için de kullanılabileceğini göstermektedir. Sistem odasının dönemin %94,5'inde önerilen alt sınırın altında soğutulması, literatürde sıkça vurgulanan gereksiz soğutma sorununun küçük ölçekli bir kurumsal ortamda da geçerli olduğunu ortaya koymaktadır (Capozzoli ve Primiceri, 2015; Patterson, 2008). ASHRAE'nin önerilen aralığı genişletmesinin ve El-Sayed vd. (2012)'nin bulgularının da gösterdiği gibi, sıcaklığın önerilen aralık içinde yükseltilmesi donanım güvenilirliğini tehlikeye atmadan enerji tüketimini azaltabilir. Bu çalışmada tasarruf miktarı, klimaya ait enerji ölçümü bulunmadığı için sayısal olarak hesaplanamamıştır; ayar noktası değişikliğinin önce ve sonra ölçümlerle değerlendirilmesi ileriki çalışmalara bırakılmıştır.

Anomali döneminin tespiti, sürekli izlemenin erken uyarı değerini göstermektedir. Ancak aynı dönem, izleme sisteminin zayıf noktasını da ortaya koymuştur: sorunun en belirgin olduğu anlarda cihazın bağlantısı kopmuş ve veri kaydedilememiştir. Bu durum, izleme altyapısının izlediği sistemle aynı risklere maruz kalabileceğini ve izleme cihazının kendi erişilebilirliğinin de ayrıca izlenmesi gerektiğini göstermektedir.

Veri kalitesi bulguları, Karkouch vd. (2016) ve Teh vd. (2020) tarafından tanımlanan hata türlerinin ticari ve hazır bir izleme platformunda da görülebildiğini doğrulamaktadır. Aynı altyapının kurulum aşamasındaki kısa süreli değerlendirmede ölçümlerin tutarlı olduğu raporlanmıştı (Doğan, 2025); bu çalışmada ise bir aylık kesintisiz veri üzerinde yapılan analiz, kısa süreli gözlemlerde görünmeyen sensör ve veri kalitesi sorunlarını ortaya çıkarmıştır. Bu durum, IoT izleme sistemlerinin kurulumdan sonra da uzun dönemli veriyle düzenli olarak doğrulanması gerektiğini göstermektedir. Özellikle kapı sensörünün hiç tetiklenmemesi, gösterge panelinde her zaman "Hayır" gibi normal görünen bir değer ürettiği için fark edilmesi güç bir sorundur. Benzer şekilde, dışa aktarılan zaman damgalarındaki biçim hatası, verinin platform dışında analiz edilmek istendiğinde ciddi bir engel oluşturmaktadır. Bu bulgular, IoT verisine dayalı kararların, sensör doğrulaması ve veri kalitesi kontrolleriyle desteklenmesi gerektiğine işaret etmektedir.

Çalışmanın kısıtları şunlardır:

1. Veri tek bir odadan ve 32 günlük bir dönemden elde edilmiştir.
2. Tespit edilen olayların nedenleri işletme kayıtlarıyla henüz doğrulanmamıştır.
3. Sensörlerin doğruluğu bağımsız bir referans ölçüm cihazıyla karşılaştırılmamıştır.
4. Klimaya ait enerji tüketimi ölçülmemiştir.

Bu çalışmada bir üretim işletmesinin sistem odasında çalışan IoT tabanlı ortam izleme platformunun 32 günlük, dakikalık çözünürlükteki verileri analiz edilmiş ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır:

1. Platform %99,87 veri kapsama oranıyla sürekli veri üretmiştir.
2. Oda, dönemin %94,5'inde önerilen alt sıcaklık sınırının altında soğutulmuştur; bu durum

enerji tasarrufu potansiyeline işaret etmektedir.
3. Sensörlerin birlikte değerlendirilmesiyle fiziksel müdahaleler ve bir anomali dönemi tespit edilebilmiştir.
4. Kapı sensörü, voltaj ölçümü, zaman damgası biçimi ve izleme kapsamı açısından önemli veri kalitesi sorunları bulunmaktadır.
Bulgular doğrultusunda şu öneriler geliştirilmiştir:
1. Klima ayar noktasının önerilen aralık içinde kademeli olarak yükseltilmesi ve etkisinin ölçülmesi.
2. Kapı sensörünün ve voltaj ölçüm noktasının yerinde doğrulanması.
3. İzleme cihazının kendi bağlantı durumu için ayrı bir uyarı tanımlanması.
4. İkinci sistem odasındaki cihazın yeniden devreye alınması.
5. Alarm eşiklerinin ASHRAE önerilen aralığına göre gözden geçirilmesi.
6. Dışa aktarım biçiminin 24 saatlik zaman damgası kullanacak şekilde düzeltilmesi.
Gelecek çalışmalarda daha uzun bir dönem, birden fazla oda, enerji tüketimi ölçümleri ve otomatik anomali tespit yöntemleri ile analiz genişletilecektir.

KAYNAKÇA

Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. IEEE Communications Surveys & Tutorials, 17(4), 2347–2376. https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095

ASHRAE. (2021). Thermal guidelines for data processing environments (5th ed.). ASHRAE TC 9.9.

Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The Internet of Things: A survey. Computer Networks, 54(15), 2787–2805. https://doi.org/10.1016/j.comnet.2010.05.010

Capozzoli, A., & Primiceri, G. (2015). Cooling systems in data centers: State of art and emerging technologies. Energy Procedia, 83, 484–493.

Chandola, V., Banerjee, A., & Kumar, V. (2009). Anomaly detection: A survey. ACM Computing Surveys, 41(3), 1–58. https://doi.org/10.1145/1541880.1541882

Doğan, Y. (2025, 12–13 Nisan). Kurumsal ağlarda nesnelerin interneti (IoT) cihazlarının yönetimi ve güvenliği için sistem altyapısının geliştirilmesi. 3. Uluslararası Gaziantep Bilimsel Araştırmalar Kongresi tam metin kitabı (ss. 504–511). ISARC. ISBN 978-625-378-226-9

Doğan, Y. (2026, 14–16 Mayıs). GNS3 tabanlı ağ simülasyonu ve NMS entegrasyonu ile kurumsal IoT cihaz güvenliği modellemesi [Özet]. INSAC-IRNES 2026 International Researches Congress on Natural and Engineering Sciences, Kongre özet kitapçığı (ss. 24–27). Duvar Yayınları. E-ISBN 978-625-8756-59-3

El-Sayed, N., Stefanovici, I. A., Amvrosiadis, G., Hwang, A. A., & Schroeder, B. (2012). Temperature management in data centers: Why some (might) like it hot. Proceedings of the 12th ACM SIGMETRICS/PERFORMANCE Joint International Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems, 163–174. https://doi.org/10.1145/2254756.2254778

Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. Future Generation Computer Systems, 29(7), 1645–1660. https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010

Hunter, J. D. (2007). Matplotlib: A 2D graphics environment. Computing in Science & Engineering, 9(3), 90–95. https://doi.org/10.1109/MCSE.2007.55

IEC. (2009). IEC 60038: IEC standard voltages. International Electrotechnical Commission.

Karkouch, A., Mousannif, H., Al Moatassime, H., & Noel, T. (2016). Data quality in internet of things: A state-of-the-art survey. Journal of Network and Computer Applications, 73, 57–81.

Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Smith, S., & Koomey, J. (2020). Recalibrating global data center energy-use estimates. Science, 367(6481), 984–986. https://doi.org/10.1126/science.aba3758

McKinney, W. (2010). Data structures for statistical computing in Python. Proceedings of the 9th Python in Science Conference, 56–61. https://doi.org/10.25080/Majora-92bf1922-00a

Ni, J., & Bai, X. (2017). A review of air conditioning energy performance in data centers. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 67, 625–640.

Patterson, M. K. (2008). The effect of data center temperature on energy efficiency. 11th Intersociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic Systems (ITHERM), 1167–1174.

Rong, H., Zhang, H., Xiao, S., Li, C., & Hu, C. (2016). Optimizing energy consumption for data centers. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 58, 674–691.

Stojkoska, B. L. R., & Trivodaliev, K. V. (2017). A review of Internet of Things for smart home: Challenges and solutions. Journal of Cleaner Production, 140, 1454–1464.

Teh, H. Y., Kempa-Liehr, A. W., & Wang, K. I.-K. (2020). Sensor data quality: A systematic review. Journal of Big Data, 7, 11. https://doi.org/10.1186/s40537-020-0285-1

Wang, R. Y., & Strong, D. M. (1996). Beyond accuracy: What data quality means to data consumers. Journal of Management Information Systems, 12(4), 5–33. https://doi.org/10.1080/07421222.1996.11518099

CUMHURİYET'İN KURULUŞUNDAN GÜNÜMÜZE ÖĞRETMEN İMGESİNİN DEĞİŞİMİ: TOPLUMSAL ANLAM, GÖREV VE İDEAL ÖĞRETMEN

Dr. Önder KORKMAZ
Milli Eğitim Bakanlığı Bakanlık Müfettişi, Ankara,
Orcid: 0000-0003-0169-6655
Prof. Dr. Mustafa GÜÇLÜ
Erciyes Üniversitesi Eğitim Fakültesi Kayseri,
Orcid: 0000-0002-7565-3554

ÖZET
Cumhuriyet'in kuruluşuyla birlikte eğitim, yeni devletin toplumsal dönüşüm hedeflerinin gerçekleştirilmesinde temel araçlardan biri olarak görülmüş, öğretmene de bu süreçte önemli görevler yüklenmiştir. Cumhuriyet'in ilk yıllarında öğretmen, yalnızca okulda bilgi aktaran bir meslek mensubu olarak değil, yeni toplum düzeninin değerlerini benimseyen ve bunları geniş halk kitlelerine ulaştıran bir aydın ve toplumsal değişimin öncüsü olarak değerlendirilmiştir. Özellikle okullaşmanın sınırlı olduğu ve nüfusun önemli bir bölümünün kırsal kesimde yaşadığı dönemlerde öğretmenin okulun sınırlarını aşan bir toplumsal sorumluluğa sahip olduğu görülmektedir. Ancak Türkiye'nin geçirdiği siyasal, ekonomik ve toplumsal değişimler, eğitim sistemindeki gelişmeler ve öğretmen yetiştirme politikalarındaki farklılaşmalar zaman içerisinde öğretmene yüklenen anlamı da değiştirmiştir. Bu çalışmanın amacı, Cumhuriyet'in kuruluşundan günümüze kadar geçen süreçte öğretmene yüklenen toplumsal anlamın, öğretmenden beklenen görevlerin ve ideal öğretmen imgesinin geçirdiği değişimi tarihsel bir bakış açısıyla incelemektir. Araştırmada nitel araştırma yöntemlerinden doküman incelemesi kullanılacaktır. Cumhuriyet'in farklı dönemlerine ait eğitim politikası belgeleri, Millî Eğitim Şûrası kararları, öğretmen yetiştirmeye ilişkin düzenlemeler, öğretim programları ve ilgili alan yazın araştırmanın temel kaynaklarını oluşturacaktır. Elde edilen veriler, belirlenen tarihsel dönemler çerçevesinde karşılaştırmalı olarak değerlendirilecektir. Çalışmada Cumhuriyet'in ilk dönemlerinde öne çıkan "toplumun aydınlatıcısı ve Cumhuriyet değerlerinin taşıyıcısı öğretmen" anlayışından, ilerleyen dönemlerde mesleki bilgi ve yeterlikleri ön plana çıkan öğretmen anlayışına doğru yaşanan değişim ele alınacaktır. Özellikle 2000'li yıllardan itibaren öğrenci merkezli eğitim anlayışının yaygınlaşmasıyla öğretmenin bilgi aktaran kişi olmaktan çok öğrenmeye rehberlik eden kişi olarak tanımlanmaya başlanması üzerinde durulacaktır. Son yıllarda dijital teknolojilerin ve yapay zekânın eğitimde giderek daha fazla yer alması ise öğretmenin rolünü yeniden tartışmaya açmıştır. Bu gelişmeler doğrultusunda çalışmanın, yaklaşık bir asırlık süreç içerisinde Türkiye'de öğretmen imgesinde ortaya çıkan süreklilikleri ve değişimleri ortaya koyması ve günümüzde öğretmenlik mesleğine yüklenen anlamın tarihsel arka planının anlaşılmasına katkı sağlaması beklenmektedir.
Anahtar Kelimeler: Türk eğitim tarihi, öğretmenlik, öğretmen imgesi, Cumhuriyet dönemi, öğretmen yetiştirme.

THE TRANSFORMATION OF THE TEACHER IMAGE FROM THE ESTABLISHMENT OF THE TURKISH REPUBLIC TO THE PRESENT: SOCIAL MEANING, ROLES, AND THE IDEAL TEACHER

ABSTRACT

With the establishment of the Republic, education came to be regarded as one of the fundamental instruments for achieving the new state's goals of social transformation, and teachers were assigned significant responsibilities in this process. In the early years of the Republic, teachers were viewed not merely as professionals responsible for transmitting knowledge in schools, but also as intellectuals and agents of social change who embraced the values of the new social order and conveyed them to broader segments of society. Particularly during periods when schooling opportunities were limited and a considerable proportion of the population lived in rural areas, teachers assumed social responsibilities that extended beyond the boundaries of the school. However, the political, economic, and social transformations experienced in Türkiye, along with developments in the education system and changes in teacher education policies, gradually altered the meanings and roles attributed to teachers.

The aim of this study is to examine, from a historical perspective, how the social meaning attributed to teachers, the roles expected of them, and the image of the ideal teacher have changed from the establishment of the Republic to the present day. Document analysis, a qualitative research method, will be employed in the study. Educational policy documents from different periods of the Republic, decisions of the National Education Councils, regulations concerning teacher education, curricula, and relevant literature will constitute the main sources of the research. The data obtained will be comparatively examined within the framework of the identified historical periods.

The study will address the transition from the early Republican understanding of the teacher as an "enlightener of society and a bearer of Republican values" toward an understanding that increasingly emphasizes professional knowledge and competencies. Particular attention will be given to the period after the 2000s, when the spread of student-centered approaches to education led to teachers being increasingly defined as facilitators and guides in the learning process rather than merely transmitters of knowledge. In recent years, the growing presence of digital technologies and artificial intelligence in education has once again brought the role of the teacher into discussion. In light of these developments, the study is expected to reveal both continuities and changes in the image of the teacher in Türkiye over approximately a century and to contribute to a better understanding of the historical background underlying the meaning attributed to the teaching profession today.

Keywords: Turkish educational history, teaching profession, teacher image, Republican period, teacher education.

1. GİRİŞ

Öğretmenlik, Türkiye'de eğitim sisteminin en eski ve üzerinde en fazla tartışılan mesleklerinden biridir. Bununla birlikte öğretmenliğin tarihsel gelişimini yalnızca öğretmen yetiştiren kurumlar, öğretmen sayıları ya da eğitim politikalarında meydana gelen değişiklikler üzerinden ele almak yeterli değildir. Çünkü öğretmenin toplumdaki yeri ve öğretmenden beklenen görevler de zaman içerisinde önemli ölçüde değişmiştir. Bir başka ifadeyle her dönem kendi ihtiyaçları, sorunları ve eğitim anlayışı doğrultusunda bir öğretmen tipi ortaya çıkarmıştır. Cumhuriyet'in ilk yıllarında eğitim, yeni toplumun inşasında önemli bir araç olarak görülmüş; öğretmene de bu süreçte okulun sınırlarını aşan bir sorumluluk yüklenmiştir. Özellikle nüfusun büyük bölümünün köylerde yaşadığı bir dönemde öğretmen, Cumhuriyet'in modernleşme anlayışını toplumun farklı kesimlerine taşıyacak başlıca aktörlerden biri olarak

değerlendirilmiştir. Bu anlayış içerisinde öğretmenden yalnızca çocukların eğitimini üstlenmesi değil, görev yaptığı çevrede Cumhuriyet'in benimsediği değerlerin yerleşmesine katkıda bulunması ve toplumsal değişime öncülük etmesi de beklenmiştir. Nitekim dönemin öğretmen anlayışında idealizm, fedakârlık ve topluma hizmet gibi özelliklerin özellikle öne çıkarıldığı görülmektedir (Turgut, 2023). Bu yönüyle erken Cumhuriyet döneminin öğretmen imgesi, dönemin modernleşme anlayışı ve eğitim yoluyla toplumu dönüştürme düşüncesiyle birlikte şekillenmiştir.

İlerleyen yıllarda Türkiye'nin sosyal, ekonomik ve siyasal yapısında yaşanan değişmeler eğitim sistemini ve buna bağlı olarak öğretmenin konumunu da etkilemiştir. Okullaşmanın yaygınlaşması, köyden kente göç, eğitim sisteminin büyümesi, öğretmen yetiştirmenin üniversitelere devredilmesi, öğrenci merkezli eğitim anlayışının güç kazanması ve bilgi teknolojilerinin yaygınlaşması öğretmene yüklenen görevlerin yeniden tanımlanmasına yol açmıştır. Günümüzde ise dijital teknolojiler ve yapay zekâ uygulamaları öğretmenin eğitimdeki yerini yeniden tartışmaya açmaktadır.

Bu çalışmanın amacı, Cumhuriyet'in kuruluşundan günümüze kadar geçen süreç içerisinde öğretmene yüklenen toplumsal anlamın, öğretmenden beklenen görevlerin ve ideal öğretmen anlayışının nasıl değiştiğini tarihsel bir bakış açısıyla incelemektir. Çalışmada özellikle şu sorulara cevap aranmıştır: Cumhuriyet'in farklı dönemlerinde öğretmen toplum içerisinde nasıl konumlandırılmıştır? Öğretmenden hangi görevleri yerine getirmesi beklenmiştir? Dönemin eğitim anlayışı ideal öğretmene hangi özellikleri yüklemiştir? Bu özelliklerden hangileri zaman içerisinde değişmiş, hangileri varlığını sürdürmüştür?

2. CUMHURİYET'İN İLK YILLARINDA ÖĞRETMEN: OKULUN ÖTESİNE GEÇEN BİR GÖREV

Cumhuriyet'in ilk yıllarındaki öğretmen anlayışını değerlendirirken dönemin toplumsal ve eğitimsel koşullarını göz önünde bulundurmak gerekir. Nüfusun büyük bölümünün kırsalda yaşadığı bu yıllarda Anadolu'nun eğitim imkânları oldukça sınırlıydı. Cumhuriyet yönetimi bu tabloyu değiştirmek amacıyla eğitimi ülke geneline yaygınlaştırmaya çalışmış; Tevhid-i Tedrisat Kanunu, Millet Mektepleri ve daha sonraki yıllarda Köy Enstitüleri gibi uygulamalar bu arayışın önemli adımlarını oluşturmuştur. Eğitim, bu dönemde yalnızca okuma yazma öğretmenin ötesinde, Anadolu'nun eğitim düzeyini yükseltmenin ve Cumhuriyet'in benimsediği ilkelerin toplumda karşılık bulmasını sağlamanın bir yolu olarak değerlendirilmiştir (Demirbaş & Özalp, 2022). Bu anlayış, öğretmenin görev alanını da genişletmiş; özellikle köylerde öğretmen, okulda çocukların eğitimini üstlenen bir meslek mensubu olmanın yanında, Cumhuriyet'in eğitim anlayışını ve yeni değerlerini halka ulaştıran kişilerden biri hâline gelmiştir.

Harf İnkılabı sonrasında gerçekleştirilen okuma-yazma faaliyetleri bu durumun önemli örneklerinden biridir. Millet Mektepleri aracılığıyla yalnızca okul çağındaki çocukların değil yetişkin nüfusun da eğitilmesi amaçlanmış, öğretmenler bu sürecin yürütülmesinde önemli görevler üstlenmiştir. Dolayısıyla öğretmenin görev alanı okulun ve sınıfın dışına taşmıştır.

Cumhuriyet'in ilk dönemindeki bu anlayışın daha sistemli örneklerinden biri Köy Enstitüleridir. 1940 yılında kurulan Köy Enstitüleri, özellikle köylerin öğretmen ihtiyacını karşılamayı amaçlamakla birlikte, burada yetiştirilecek öğretmenin yalnızca ders veren bir kişi olması düşünülmemiştir. Öğretmen adaylarının kültür derslerinin yanı sıra tarım, üretim ve çeşitli uygulama alanlarında yetiştirilmeleri, öğretmene köy yaşamı içerisinde daha geniş bir görev verildiğini göstermektedir.

Bu yıllara ilişkin eğitim politikaları ve uygulamalar birlikte değerlendirildiğinde öğretmenin, Cumhuriyet'in toplumsal dönüşümünde görev üstlenen bir aydın olarak düşünüldüğü

görülmektedir. Öğretmenden yalnızca çocukları eğitmesi değil, bulunduğu çevreye örnek olması ve toplumun gelişimine katkıda bulunması da beklenmiştir.

Ancak burada dikkat edilmesi gereken nokta, dönemin öğretmenini yalnızca "Cumhuriyet değerlerini aktaran kişi" şeklinde değerlendirmemektir. Öğretmenin aynı zamanda yeni eğitim anlayışının uygulayıcısı, halk ile devlet arasında eğitim yoluyla ilişki kuran kişi ve özellikle kırsal kesimde gündelik hayatın sorunlarıyla karşılaşan bir meslek mensubu olduğu da unutulmamalıdır.

3. 1950 SONRASINDA DEĞİŞEN TOPLUM VE ÖĞRETMENİN KONUMU

1950'li yıllardan itibaren Türkiye'de yaşanan toplumsal değişmeler öğretmenlik mesleğini de etkilemiştir. Çok partili siyasal hayata geçiş, köyden kente göçün hızlanması, nüfus artışı ve eğitim talebinin giderek yükselmesi eğitim sisteminin genişlemesine yol açmıştır. Öğrenci sayısının artmasıyla birlikte daha fazla okula ve öğretmene ihtiyaç duyulmuştur.

Bu süreçte öğretmenin Cumhuriyet'in ilk yıllarında belirgin olan toplumsal öncülük görevinin tamamen ortadan kalktığını söylemek mümkün değildir. Özellikle kırsal bölgelerde ve küçük yerleşim merkezlerinde öğretmen, uzun süre toplumun eğitimli ve saygın üyelerinden biri olmayı sürdürmüştür. Bununla birlikte eğitim sisteminin büyümesi, öğretmenin görevlerinin okul ve sınıf içerisinde daha belirgin biçimde tanımlanmasına neden olmuştur.

Köy Enstitülerinin 1954 yılında İlköğretmen Okullarıyla birleştirilmesi, öğretmen yetiştirme tarihinde önemli değişikliklerden biri olmuştur. Bu tarihten sonraki süreçte İlköğretmen Okullarının yanı sıra Eğitim Enstitüleri ve Yüksek Öğretmen Okulları da farklı kademelerin öğretmen ihtiyacını karşılayan başlıca kurumlar arasında yer almıştır (Güçlü, 2016). Öğretmen yetiştiren kurumların zaman içinde yeniden düzenlenmesi, öğretmenliğin yalnızca toplumsal bir görev olarak değil, belirli bir eğitim sürecinden geçmeyi ve mesleki yeterliklere sahip olmayı gerektiren bir uzmanlık alanı olarak ele alınmasını da güçlendirmiştir (Bilir, 2011).

Bu anlayışın hukuki açıdan daha açık bir karşılığı 1973 yılında kabul edilen 1739 sayılı Millî Eğitim Temel Kanunu'nda görülmektedir. Kanunda öğretmenlik, devletin eğitim, öğretim ve bunlarla ilgili yönetim görevlerini üstlenen "özel bir ihtisas mesleği" olarak tanımlanmıştır. Bu tanım önemlidir; çünkü öğretmenlik artık yalnızca fedakârlık, topluma hizmet ya da idealizm üzerinden değil, mesleğin gerektirdiği bilgi, beceri ve yetişme koşulları üzerinden de tanımlanmaktadır. Böylece Cumhuriyet'in ilk dönemlerinde öğretmen imgesinde oldukça belirgin olan toplumsal öncülük anlayışı ortadan kalkmamakla birlikte, öğretmenin mesleki kimliğinin giderek daha belirgin hâle geldiği söylenebilir.

Dolayısıyla 1950 sonrasındaki dönemde öğretmenin toplumsal sorumluluğu devam etmekle birlikte, mesleki kimliğinin giderek daha fazla ön plana çıktığı söylenebilir. Öğretmen artık yalnızca bulunduğu çevreye öncülük eden eğitimli kişi değil, genişleyen eğitim sisteminin belirli görev ve sorumluluklara sahip meslek elemanıdır.

4. ÖĞRETMEN YETİŞTİRMENİN ÜNİVERSİTELERE DEVRİ VE MESLEKİ YETERLİKLERİN ÖNE ÇIKMASI

1980'li yıllar öğretmen yetiştirme sistemi açısından önemli bir dönüm noktasıdır. 1982 yılında öğretmen yetiştiren yükseköğretim kurumlarının üniversiteler bünyesine alınmasıyla öğretmen yetiştirme görevi yükseköğretim sistemi içerisinde yeniden düzenlenmiştir. Bu gelişme öğretmen eğitiminin akademik bir yapı içerisinde ele alınması açısından önem taşımaktadır.

Bu dönemden itibaren öğretmenliğin bir uzmanlık alanı olduğu düşüncesinin daha fazla öne çıktığı görülmektedir. Öğretmenin alanını bilmesi, pedagojik bilgiye sahip olması, öğrencinin gelişim özelliklerini tanıması, uygun öğretim yöntemlerini kullanması, sınıfı yönetebilmesi ve öğrencinin başarısını değerlendirebilmesi ideal öğretmenin temel özellikleri arasında yer almaya başlamıştır.

Aslında bu özelliklerin daha önceki dönemlerde hiç bulunmadığını söylemek doğru olmaz. Değişen, bu yeterliklerin öğretmenlik mesleğinin tanımlanmasında daha merkezi bir hâle gelmesidir. Öğretmenin toplum içerisindeki örnek kişiliği önemini korurken, mesleki başarısı giderek sınıf içerisindeki uygulamalarıyla da değerlendirilmeye başlanmıştır.

Bu durum öğretmenlik anlayışında önemli bir değişime işaret etmektedir. Cumhuriyet'in ilk yıllarında öğretmenin toplumsal rolü daha görünürken, ilerleyen yıllarda öğretmenin alan bilgisi, öğretme becerisi ve pedagojik yeterlikleri daha fazla tartışılır hâle gelmiştir.

Öte yandan öğretmenliğin mesleki yeterlikler üzerinden tanımlanması bazı soruları da beraberinde getirmiştir. Öğretmen yalnızca belirli teknik yeterliklere sahip bir meslek elemanı mıdır, yoksa eğitim sürecinin kültürel, ahlaki ve toplumsal yönleri bakımından daha geniş bir sorumluluğu var mıdır? Bu tartışmanın günümüzde de devam ettiği görülmektedir.

5. 2000'Lİ YILLAR: ÖĞRETEN KİŞİDEN ÖĞRENME SÜRECİNİ YÖNLENDİREN ÖĞRETMENE

2000'li yıllardan itibaren eğitim programlarında ve öğretmenlik anlayışında öğrenci merkezli yaklaşımların daha fazla öne çıkması, öğretmenin sınıf içerisindeki rolüne ilişkin beklentileri de değiştirmiştir. Özellikle 2005 yılında uygulamaya konulan yeni öğretim programlarıyla birlikte öğrencinin öğrenme sürecine aktif katılımı, bilgiyi yapılandırması, problem çözmesi ve araştırması gibi özellikler daha fazla vurgulanmıştır.

Bu anlayışta öğretmen, bilgiyi hazır biçimde öğrenciye aktaran kişi olmaktan çok öğrenme ortamını düzenleyen ve öğrencinin öğrenmesine yardımcı olan kişi olarak ele alınmıştır. Bu değişiklik öğretmenin önemini azaltmamış, ancak öğretmenden beklenen görevlerin niteliğini değiştirmiştir.

Örneğin geleneksel sınıf anlayışında iyi öğretmenin önemli özelliklerinden biri konusunu iyi anlatabilmesiyken, öğrenci merkezli eğitim anlayışında buna öğrenciyi sürece katabilme, öğrenciler arasındaki bireysel farklılıkları dikkate alma, uygun öğrenme ortamları oluşturma ve öğrencinin düşünmesini sağlayacak sorular sorabilme gibi özellikler eklenmiştir.

Millî Eğitim Bakanlığı tarafından hazırlanan ve 2017 yılında güncellenen Öğretmenlik Mesleği Genel Yeterlikleri de bu değişimi göstermektedir. Belgede öğretmen yeterlikleri "mesleki bilgi", "mesleki beceri" ve "tutum ve değerler" olmak üzere üç temel yeterlik alanı altında ele alınmıştır. Böylece öğretmenin yalnızca alan ve öğretmenlik bilgisine sahip olması değil, öğrenciyi tanıması, öğrenme ortamları oluşturması, ölçme ve değerlendirme yapması, mesleki gelişimini sürdürmesi ve belirli mesleki tutum ve değerlere sahip olması beklenmektedir.

Bu dönemde ortaya çıkan öğretmen anlayışını yalnızca "rehber öğretmen" kavramıyla açıklamak da yeterli olmayabilir. Çünkü öğretmenin bilgi ve alan uzmanlığı ortadan kalkmamaktadır. Öğretmenin alanını iyi bilmesi hâlâ önemlidir. Ancak buna öğrencinin nasıl öğrendiğini bilme ve öğrenme sürecini buna göre düzenleyebilme sorumluluğu eklenmiştir.

6. GÜNÜMÜZDE ÖĞRETMENLİK: DİJİTALLEŞME, DEĞİŞEN BİLGİ KAYNAKLARI VE YENİ BEKLENTİLER

Dijital teknolojilerin eğitimde giderek daha fazla yer alması, öğretmenin eğitim sürecindeki konumunu da etkilemiştir. Başlangıçta daha çok derslerde yardımcı materyal olarak kullanılan dijital araçlar, bugün ders planlama ve öğretim etkinlikleri hazırlama gibi farklı amaçlarla kullanılmaktadır. Öğretmen ve okul yöneticilerinin deneyimlerini inceleyen Atalay (2026), dijital araçların özellikle ders planlama, öğretim etkinlikleri hazırlama ve öğretim sürecini kolaylaştırma bakımından öğretmenlere katkı sağladığını ortaya koymaktadır. Bu gelişmeler, teknolojinin öğretmenin yerini almasından çok öğretmenin çalışma biçimini değiştirdiğini göstermektedir.

Yapay zekâ uygulamalarının eğitimde yaygınlaşmasıyla birlikte bu değişim daha belirgin hâle gelmiştir. Öğrenciler artık bilgiye yalnızca öğretmen veya ders kitabı aracılığıyla

ulaşmamaktadır. İnternet, dijital eğitim ortamları ve yapay zekâ araçları öğrencilere çok sayıda bilgi kaynağı sunmaktadır. Bu durum, öğretmenin bilgi aktarma rolünün yanında başka sorumluluklarının da önem kazanmasına neden olmuştur. Sayın ve Orbay (2026), yapay zekânın öğretim, ölçme-değerlendirme ve zamanın etkili kullanılması bakımından çeşitli imkânlar sunduğunu; ancak etik sorunlar, kişisel verilerin korunması, öğrencinin pasifleşmesi ve fırsat eşitliği gibi bazı sorunları da beraberinde getirebildiğini belirtmektedir.

Burada önemli olan, öğrencinin bilgiye ulaşmasından çok ulaştığı bilgiyle ne yaptığıdır. Çok sayıda kaynağa erişebilmek, doğru ve güvenilir bilgiye ulaşıldığı anlamına gelmemektedir. Bu nedenle öğretmenin öğrenciyi kaynakları sorgulamaya, farklı bilgileri karşılaştırmaya ve teknolojiyi öğrenme amacıyla bilinçli biçimde kullanmaya yönlendirmesi önem kazanmaktadır. Geçmişte bilgiye ulaşmada önemli kaynaklardan biri olan öğretmenin günümüzdeki görevi, öğrencinin karşılaştığı çok sayıdaki bilgi arasında doğru değerlendirmeler yapmasına yardımcı olmayı da kapsamaktadır.

Öğretmenden beklenen bu rol, Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli'nin benimsediği bütüncül eğitim anlayışında da görülmektedir. Model doğrultusunda öğretmen yeterliklerini inceleyen Öz ve İlhan (2026), öğretmenden beklenen yeterliklerin yalnızca alan bilgisi veya öğretim becerileriyle sınırlı olmadığını; bilgi, beceri ve tutum boyutlarını birlikte kapsadığını belirtmektedir. Bu bakımdan günümüz öğretmeninden öğrencinin yalnızca akademik öğrenmesini değil, farklı yönlerden gelişimini de desteklemesi beklenmektedir.

Bir öğrenci bugün bir konuyu anlamak, soru çözmek veya bir metin hazırlamak amacıyla yapay zekâ araçlarından yararlanabilir. Ancak aracın sunduğu bilginin doğru olup olmadığını değerlendirmek, bilgiyi hangi amaçla ve nasıl kullanacağını bilmek ayrı bir beceridir. Öğretmenin rehberliği bu noktada önemini korumaktadır. Dolayısıyla öğretmenden teknolojiyle yarışması değil, teknolojiyi eğitim sürecinin amaçlarına uygun biçimde kullanması ve öğrencisine de bu konuda yol göstermesi beklenmektedir. Öğretmen-öğrenci ilişkisindeki güven, iletişim, değerler ve insani etkileşim ise teknolojik gelişmelerden bağımsız olarak öğretmenliğin temel unsurları olmayı sürdürmektedir.

7. SONUÇ

Cumhuriyet'in kuruluşundan günümüze öğretmenlik mesleği, Türkiye'de meydana gelen toplumsal, siyasal ve eğitimsel değişmelerden doğrudan etkilenmiştir. Cumhuriyet'in ilk yıllarında öğretmen, yeni devletin toplumsal dönüşümünde görev üstlenen ve özellikle kırsal kesimde okulun sınırlarını aşan sorumluluklar taşıyan bir kişi olarak görülmüştür.

İlerleyen yıllarda eğitim sisteminin büyümesi ve kurumsallaşmasıyla birlikte öğretmenin mesleki kimliği daha belirgin hâle gelmiş; alan bilgisi, pedagojik bilgi ve öğretim becerileri öğretmenlik mesleğinin temel unsurları arasında daha fazla öne çıkmıştır. Öğretmen yetiştirmenin üniversitelere devredilmesi bu sürecin önemli aşamalarından birini oluşturmuştur. 2000'li yıllardan itibaren öğrenci merkezli eğitim anlayışının güçlenmesi ise öğretmenin sınıf içerisindeki rolünü yeniden şekillendirmiştir. Öğretmen artık yalnızca bilgiyi aktaran kişi olarak değil, öğrencinin öğrenme sürecini düzenleyen, ona rehberlik eden ve öğrencinin kendi öğrenmesinde daha etkin hâle gelmesini sağlayan kişi olarak değerlendirilmektedir.

Günümüzde dijital teknolojiler ve yapay zekâ bu değişimi daha da belirgin hâle getirmektedir. Öğrencinin bilgiye ulaşmak için öğretmene geçmişte olduğu ölçüde bağımlı olmaması, öğretmenin gereksiz hâle geldiği anlamına gelmemektedir. Aksine öğretmenin görevinin bilgi vermekten bilgiyi değerlendirmeye, anlamlandırmaya ve öğrenme sürecini yönlendirmeye doğru genişlediği görülmektedir.

Yaklaşık bir asırlık süreç içerisinde öğretmenin görev ve sorumlulukları önemli ölçüde değişmiştir. Bununla birlikte öğrencinin gelişiminde öğretmene önemli bir sorumluluk yüklenmesi devam etmiştir. Bu sorumluluk Cumhuriyet'in ilk yıllarında toplumu aydınlatma

ve Cumhuriyet'in değerlerini aktarma, ilerleyen dönemlerde etkili öğretim yapma ve günümüzde öğrenciye öğrenme sürecinde rehberlik etme biçiminde öne çıkmıştır.

Bu açıdan Cumhuriyet dönemi öğretmen imgesindeki değişimi, bir öğretmen anlayışının ortadan kalkarak yerini bütünüyle başka bir anlayışa bırakması şeklinde değerlendirmek doğru olmayacaktır. Cumhuriyet'in ilk yıllarındaki öğretmen ile günümüzün öğrenci merkezli ve teknolojiyle iç içe çalışan öğretmeni arasında önemli farklılıklar bulunmakla birlikte, öğretmenin insan yetiştirme sorumluluğu devam etmektedir.

Sonuç olarak değişen, öğretmene duyulan ihtiyaçtan çok **bu ihtiyacın niteliğidir**. Cumhuriyet'in ilk yıllarında öğretmenden bilgiye ve eğitime erişimi sınırlı bir topluma yol göstermesi beklenirken, günümüzde çok sayıda bilgi kaynağıyla karşı karşıya bulunan öğrencinin doğru bilgiye ulaşmasına, bilgiyi sorgulamasına ve öğrendiklerini anlamlandırmasına yardımcı olması beklenmektedir. Bu açıdan öğretmenlik, Cumhuriyet'in ikinci yüzyılında da önemini korumakta; ancak öğretmenin bilgi, öğrenci ve toplumla kurduğu ilişkinin yeniden tanımlandığı bir döneme girmektedir.

KAYNAKLAR

Atalay, A. (2026). Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli kapsamında dijital araçların eğitimdeki rolü: Öğretmen ve yönetici deneyimleri. *Türk Eğitim Bilimleri Dergisi, 24*(1), 836–860. https://doi.org/10.37217/tebd.1716206

Bilir, A. (2011). Türkiye'de öğretmen yetiştirmenin tarihsel evrimi ve istihdam politikaları. *Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Dergisi, 44*(2), 223–246.

Demirbaş, İ., & Özalp, M. T. (2022). Türkiye'de Cumhuriyet Dönemi eğitim politikaları (1923–1950). *Tarih Okulu Dergisi, 15*(59), 2604–2626. https://doi.org/10.29228/joh.57415

Güçlü, M. (2016). 1950 ve 1980 yılları arasında Türkiye'de öğretmen yetiştirme alanında görülen temel eğilimler. *OPUS Uluslararası Toplum Araştırmaları Dergisi, 3*(4), 83–91.

Millî Eğitim Bakanlığı. (2017). *Öğretmenlik Mesleği Genel Yeterlikleri*. Ankara: Millî Eğitim Bakanlığı.

Millî Eğitim Bakanlığı. (2024). *Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli Öğretim Programları Ortak Metni*. Ankara: Millî Eğitim Bakanlığı.

Millî Eğitim Temel Kanunu. (1973). 1739 sayılı Millî Eğitim Temel Kanunu.

Öğretmenlik Mesleği Kanunu. (2024). 7528 sayılı Öğretmenlik Mesleği Kanunu.

Öz, E., & İlhan, E. (2026). Türkiye Yüzyılı Maarif Modeli bütüncül eğitim anlayışının öğretmen yeterliliklerine yansıması. *Türk Eğitim Bilimleri Dergisi, 24*(2), 1233–1268. https://doi.org/10.37217/tebd.1788604

Öztürk, C. (2005). *Türkiye'de dünden bugüne öğretmen yetiştiren kurumlar*. Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları.

Sayın, V., & Orbay, K. (2026). Sınıf öğretmenlerinin yapay zekâ farkındalıkları ve yapay zekânın eğitimdeki rolüne ilişkin görüşleri. *Manisa Celal Bayar Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi, 14*(1).

Turgut, S. (2023). Cumhuriyet modernleşmesinin taşıyıcısı olarak mefkûreci öğretmen. *İnsan & Toplum, 13*(1), 126–158. https://doi.org/10.12658/M0677

Yükseköğretim Kurulu. (2007). *Öğretmen yetiştirme ve eğitim fakülteleri (1982–2007)*. Ankara: Yükseköğretim Kurulu.

MÜZESİ OLMAYAN KENTLERDE KÜLTÜREL MİRAS EĞİTİMİ: AİOLİS DİJİTAL ARKEOLOJİ VE ÇİNİ MÜZESİ PROJESİ

Dr.Özlem Yıldız
Aslı Atalay
Rosida Defne Yıldırım
Zeynep Ezgi Sağdıç
Aliağa Habaş Mehmet Rüştü Başaran Bilim Ve Sanat Merkezi

Özet
Bu proje, Batı Anadolu'nun köklü uygarlık alanlarından biri olmasına rağmen günümüzde unutulmuş, eğitim ortamlarında görünmez hâle gelmiş ve öğrenciler tarafından neredeyse hiç tanınmayan Aiolis Bölgesinin tarihsel ve kültürel mirasını yeniden görünür kılmak amacıyla geliştirilmiştir. Aiolis'e ait arkeolojik eserlerin farklı müze koleksiyonlarında dağınık hâlde bulunması ve Aliağa'da bir müzenin olmaması, öğrencilerin yaşadıkları çevrenin binlerce yıllık geçmişiyle bağ kurmasını zorlaştırmaktadır. Bu sorundan hareketle "*Aiolis Dijital Arkeoloji ve Çini Müzesi*" oluşturulmuş; İzmir, Manisa ve uluslararası koleksiyonlardan seçilen yaklaşık 60 Aiolis eseri dijitalleştirilerek Artsteps platformu üzerinde tematik kent salonlarında bütüncül bir dijital müze modeli içinde sunulmuştur.
Proje kapsamında öğrencilerin unutulmuş bir kültürel mirası keşfetmeleri ve sahiplenmeleri hedeflenmiştir. Dijital müze deneyimi; kare kodlarla desteklenen etkileşimli içerikler, her kent salonuna entegre edilen kısa tanıtım videoları ve rehberli sesli anlatımlarla zenginleştirilmiştir. Böylece öğrencilerin müzeyi yönlendirilmiş, anlaşılır ve çok duyulu bir öğrenme ortamı olarak VR destekli deneyim sağlamaları amaçlanmıştır. Ayrıca öğrencilerin kültürel mirasla yaratıcı bağ kurmaları amacıyla bir çini tasarım atölyesi gerçekleştirilmiş; atölye sürecinde üretilen 30 çini eser dijital müzede sergilenmiştir. Bunun yanında, Aiolis kentlerini tanıtan bir müze rehber kitabı, "*Unutulan Aiolis'i Hatırla*" adlı etkinlik kitabı ve bir Aiolis şarkısı hazırlanmıştır.
Uygulama sürecinde ihtiyaç analizi, ön test–son test, çini sanatı tutum ölçeği ve dijital müze deneyimi değerlendirme formu kullanılmıştır. Bulgular, dijital müze ve uygulamalı sanat etkinlikleriyle desteklenen bu öğrenme modelinin öğrencilerin yerel tarih farkındalığını, kültürel miras bilincini ve yaratıcı üretime yönelik tutumlarını anlamlı biçimde artırdığını göstermektedir. Sonuç olarak proje, müzesi olmayan ve unutulmuş kültürel miras alanları için geliştirilebilir, ölçülebilir ve sürdürülebilir bir dijital öğrenme modeli sunmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Aiolis, Dijital Müze, Arkeoloji, Çini, Kültürel Miras.

CULTURAL HERITAGE EDUCATION IN CITIES WITHOUT MUSEUMS: AIOLIS DIGITAL ARCHAEOLOGY AND TILE MUSEUM PROJECT

Abstract
This project was developed to make the historical and cultural heritage of the Aiolis Region visible again, which, despite being one of Western Anatolia's deeply rooted civilization areas, has been forgotten, rendered invisible in educational environments, and remained almost unknown to students. The scatter of archaeological artifacts belonging to Aiolis across various museum collections and the absence of a dedicated museum in Aliağa make it difficult for students to build a connection with the multi-millennial past of their living environment. Addressing this issue, the "Aiolis Digital Archaeology and Tile Museum" was established; approximately 60 Aiolis artifacts selected from collections in İzmir, Manisa, and international museums were digitized and presented within a holistic digital museum model in thematic city halls on the Artsteps platform.

Within the scope of the project, it was aimed for students to discover and take ownership of a forgotten cultural heritage. The digital museum experience was enriched with QR code-supported interactive content, brief introductory videos integrated into each city hall, and guided audio narratives. Thus, it was intended to provide students with a VR-supported experience of the museum as a guided, comprehensible, and multi-sensory learning environment. In addition, a tile design workshop was conducted to enable students to establish a creative connection with cultural heritage, and 30 tile artworks produced during the workshop process were exhibited in the digital museum. Furthermore, a museum guidebook introducing the Aiolis cities, an activity book titled "Remember the Forgotten Aiolis," and an Aiolis song were prepared.
During the implementation process, a needs analysis, pre-test–post-test assessments, a tile art attitude scale, and a digital museum experience evaluation form were utilized. The findings demonstrate that this learning model, supported by a digital museum and applied art activities, significantly enhanced students' local history awareness, cultural heritage consciousness, and attitudes toward creative production. In conclusion, the project offers a scalable, measurable, and sustainable digital learning model for cities without museums and forgotten cultural heritage sites.
Keywords: Aiolis, Digital Museum, Archaeology, Tile Art, Cultural Heritage.

Giriş

Müzeler, toplumların kültürel, tarihî ve bilimsel birikimini koruyup gelecek kuşaklara aktaran temel kurumlardır. Eğitim işleviyle birlikte müzeler, bireylerin tarihsel olayları anlamlandırmalarına, geçmişle bugün arasında bağ kurmalarına ve kültürel farkındalık geliştirmelerine olanak tanımaktadır (Leinhardt, Crowley & Knutson, 2002; Shaw, 2004; Talboys, 2016). Dijitalleşme ile birlikte müzelerin öğrenme süreçlerindeki rolü daha da görünür hâle gelmiş; müze temelli öğrenme, okul dışı öğrenme ortamlarının önemli bir bileşeni olarak öne çıkmıştır (Falk & Dierking, 2016). Öğrenciler müze ziyaretlerinde tarihsel nesnelerle karşılaşarak, tarihî dönemlerin yaşam biçimlerini, toplumsal yapısını ve değer sistemlerini somut kanıtlar üzerinden kavrayabilmektedir (Boyer, 1996; Önder, Abacı & Kamaraj, 2009). Nitekim Egüz'ün (2020) araştırması, müze temelli etkinliklerin öğrencilerin akademik başarılarını arttırdığını, öğrenmenin kalıcılığını desteklediğini ve Sosyal Bilgiler öğretimine yönelik motivasyonu yükselttiğini göstermiştir. Benzer şekilde Meydan ve Akkuş (2014) müze gezilerinin öğrenci ilgisini artırdığını ve kültürel miras bilinci kazandırmada etkili olduğunu ortaya koymuştur. Bu nedenle müzeler, tarihsel empati, eleştirel düşünme ve kültürel farkındalık gibi temel becerilerin gelişmesini sağlayan güçlü bir okul dışı öğrenme ortamıdır (Aktın, 2024).

Teknolojinin gelişimiyle birlikte sanal müzeler, eğitimde giderek daha fazla öne çıkan bir öğrenme aracı haline gelmiştir. Sanal müzeler, mekân ve zaman sınırlılığını ortadan kaldırarak öğrencilere erişilebilir, etkileşimli ve görsel açıdan zengin bir öğrenme deneyimi sunmakta; özellikle müzesi olmayan yerleşimlerde önemli bir boşluğu doldurmaktadır (Tunç & Gökmen, 2024). Bununla birlikte, alan yazın incelendiğinde sanal müze çalışmalarının çoğunun **büyük kurumsal müzelerde** yürütüldüğü**, yerel tarih odaklı sanal müzelerin** ise oldukça sınırlı olduğu görülmektedir (Kepir & Kiriş Avaroğulları, 2022). Öğretmen görüşleri de sanal müzelerin dersleri zenginleştirdiğini, öğrencilerin dikkatini ve katılımını artırdığını, farklı öğrenme stillerine uyum sağladığını ve kültürel miras bilincini geliştirdiğini ortaya koymaktadır (Tunç & Gökmen, 2024). Bu yönüyle sanal müzeler, **yerel tarih öğretiminde öğrencilerin yaşadıkları bölgenin kültürel mirasıyla anlamlı bağlar kurmalarını destekleyen** önemli bir öğrenme potansiyeli taşımaktadır.



Fotoğraf 1: Aiolis Haritası

Projemizin konusu olan Aiolis Bölgesi, hem arkeolojik hem de kültürel açıdan son derece zengin bir coğrafya olmasına rağmen eğitim bağlamında yeterince kullanılmayan bir yerel miras alanıdır. Aiolis, antik kaynaklarda ada ve kara Aiolisi olarak ikiye ayrılan bir kültür bölgesi olarak tanımlanmaktadır. Ada-Aiolis Lesbos, Nasos ve Tenedos'u; Kara-Aiolis ise Smyrna Körfezi ile Elaitikos Körfezi arasındaki güney Aiolis ile Elaitikos Körfezi'nden İlion'a kadar uzanan kuzey Aiolis'i kapsamaktadır (İren, 2012). Aiolis adının kökeni kesin olmamakla birlikte Myken dilindeki *Aiwoleusi* formuna veya *Aiwolos* sözcüğüne dayandığı düşünülmektedir (İren, 2012). Bölgenin etnik yapısı çok katmanlıdır: Tunç Çağı'nda Luwi kökenli yerli halklar ile Pelasgların yaşadığı Kara-Aiolis, daha sonra Boiotia ve Thessalia'dan gelen Aiol göçleriyle yeni bir kültürel kimlik kazanmıştır (Sevin, 2001; İren, 2003). Göçler sonucunda Aioller Lesbos'a, ardından Batı Anadolu kıyılarına yerleşmiş; Aigai, Larisa, Myrina, Gryneion, Kyme, Pitane, Temnos ve Notion gibi kentleri içine alan Aiol Birliği'ni oluşturmuşlardır (Taşpınar, 2020). Bu nedenle Aiolis, Ege'nin erken şehirleşme, kültürel etkileşim ve dil birliği açısından en önemli uygarlık alanlarından biri olarak kabul edilmektedir. Ancak tüm bu tarihsel ve kültürel önemine karşın, Aliağa'da ortaokullarda öğrenim gören 81 öğrenciyle gerçekleştirilen ihtiyaç analizi, Aiolis Bölgesi'nin öğrenciler tarafından yeterince tanınmadığını ortaya koymuştur. Hatta bazı öğrencilerin Aiolis adını daha önce hiç duymadığı belirlenmiştir. Bu durum, bölgenin sahip olduğu zengin kültürel mirasın eğitim ortamlarında yeterince yer bulamadığını açıkça göstermektedir.

Aiolis bölgesinin tarihsel önemine rağmen günümüzde Aiolis'in merkezi Kyme'nin bulunduğu Aliağa'da bir müze bulunmaması, öğrencilerin yaşadıkları coğrafyanın kültürel geçmişine erişimini önemli ölçüde sınırlamaktadır. Aigai, Myrina, Kyme, Pitane, Larisa, Neonteichos, Notion ve Gryneion gibi Aiolis kentlerine ait eserlerin çeşitli müzelere dağılmış hâlde bulunması, bölgenin bütüncül bir tarih anlatısının öğrencilere sunulmasını güçleştirmektedir. Öğrencilerin kendi yaşadıkları çevrenin tarihini tanımaları, kültürel kimlik, aidiyet ve tarihsel farkındalık açısından büyük önem taşımaktadır (Hooper-Greenhill, 2007). Bu nedenle Aiolis'i eğitim bağlamında görünür kılacak, erişilebilir ve sürdürülebilir bir dijital öğrenme ortamına ihtiyaç duyulmaktadır.

Sanal müzelerin öğrenme motivasyonunu artırdığı, karmaşık tarihsel kavramları somutlaştırdığı ve öğrenmeyi kalıcı hâle getirdiği çeşitli araştırmalarla ortaya koyulmuştur (Tunç & Gökmen, 2024; Utkugün & Yıldırım, 2024). Ancak literatürde Aiolis Bölgesi'ni konu alan, bölgenin arkeolojik mirasını dijital ortamda bütüncül biçimde sunan, öğrencilerin yerel tarih bilincini geliştirmeye yönelik herhangi bir sanal müze uygulaması bulunmamaktadır. Bu durum hem yerel tarih alanında hem de sanal müze tabanlı öğrenme modellerinde önemli bir akademik boşluğa işaret etmektedir.

Aiolis Bölgesi üzerine yapılan araştırmaların büyük bölümü arkeolojik kazılar, kent tarihleri ve coğrafi çalışmalarla sınırlı olup, bölgenin eğitim bağlamında nasıl kullanılacağına ilişkin

kapsamlı bir çalışma bulunmamaktadır. Literatürde sanal müzelerin öğrenme üzerindeki etkilerini inceleyen araştırmalar bulunsa da (Tunç & Gökmen, 2024), bu çalışmalar genellikle büyük müzelerde yürütülmüş olup **müzesi olmayan bir bölgede yerel kültürel mirası görünür kılmaya yönelik sanal müze uygulamalarına rastlanmamaktadır**. Aynı şekilde, Aiolis kentlerini (Aigai, Kyme, Myrina, Gryneion vb.) dijital ortamda bütüncül şekilde sunan, öğrencilerin bölgenin arkeolojik mirasıyla etkileşim kurmasını sağlayan **eğitim odaklı bir dijital platform** bulunmamaktadır. Yerel tarih öğretiminde sanal müzelerin nasıl yapılandırılması gerektiği, öğrencilerin bu tür içeriklerle nasıl deneyim kazanacağı ve sanal müzelerin müze olmayan yerleşimlerde hangi öğrenme boşluklarını doldurabileceği de literatürde cevapsızdır. Bu proje, Aiolis'in kültürel mirasını ilk kez dijital bir müze ortamında bir araya getirerek hem **bölgesel arkeolojik verilerin eğitimde kullanımına** hem de **sanal müze temelli yerel tarih öğretimine** yönelik literatürdeki mevcut boşlukları doldurmayı amaçlamaktadır. Ayrıca yerel tarihi, çini eser üretimi ile birleştirerek öğrencilerin çini sanatıyla tanışmaları ve yerel tarihte bir anlatım aracı olarak kullanmalarını hedefledik.

Sosyal Bilgiler dersi, öğrencilerin yaşadıkları çevreyi tarihsel ve kültürel yönleriyle tanımalarını hedeflemesine rağmen, Aiolis Bölgesi'ne ilişkin öğretim materyallerinin, rehber kaynakların ve yerel müze olanaklarının bulunmaması eğitim sürecinde önemli bir boşluk yaratmaktadır. Aiolis'e ait eserlerin İzmir, Manisa ve çeşitli uluslararası koleksiyonlara dağılmış olması, bölgenin tarihsel bütünlüğünün öğrencilerin zihninde kurulmasını zorlaştırmakta; bu durum kültürel miras bilinci, tarihsel empati ve yerel kimlik farkındalığının gelişimini sınırlandırmaktadır. Bu eksiklik, öğretim programında yer alan "*yakın çevreyi tanıma*" kazanımının uygulanabilirliğini azaltmakta ve öğrencilerin yaşadıkları bölgenin yaklaşık üç bin yıllık geçmişine erişimini büyük ölçüde engellemektedir.

Batı Anadolu'nun önemli kültürel miras alanlarından biri olan Aiolis, antik dönemde bölgesel açıdan güçlü bir merkez olmasına rağmen günümüzde daha çok İyon ve Karya kentlerinin gölgesinde kalmıştır. Özellikle Aiolis'in kalbi diyebileceğimiz Kyme kentinin yer aldığı ve 12 Aiol kentinden 5'inin bulunduğu Aliağa ve çevresi öğrenciler için büyük ölçüde unutulmuş durumdadır. **Aiolis'in merkezi Aliağa'da** yaptığımız ihtiyaç analizi de bu durumu doğrulamaktadır.(%55'i çevresindeki antik kentleri bilmediğini ifade etmektedir) Kyme, Myrina, Aigai, Gryneion ve Larissa gibi Aiolis kentleri; deniz ticareti, zeytincilik, seramik üretimi, parşömen ve özgün mimari öğeler (Aiol sütunu) aracılığıyla bölgenin yerel kültürel kimliğini şekillendirmiştir. Ancak bu zengin miras, eğitim içeriklerinde yeterince yer bulamamaktadır. Aiolis'in unutulmaması; öğrencilerin yaşadıkları çevrenin tarihsel sürekliliğini fark etmeleri, yerel kültürel mirasa yönelik farkındalık geliştirmeleri ve geçmişle anlamlı bağlar kurabilmeleri açısından büyük önem taşımaktadır.

Bu proje, söz konusu eksikliği gidermek amacıyla Aiolis'e ait kültürel ve arkeolojik unsurları ilk kez bütüncül bir dijital platformda(artsteps) bir araya getirerek "***Aiolis Dijital Arkeoloji ve Çini Müzesi*"ni** geliştirmektedir. Projenin temel amacı; Aiolis Bölgesi'nden seçilmiş eserleri tematik kent salonlarında pedagojik bir düzenle sunarak öğrencilerin bölgeyi çok boyutlu biçimde tanımalarını sağlamak, müze eksikliğinden kaynaklanan öğrenme boşluğunu gidermek ve erişilebilir, sürdürülebilir, dijital kültürel miras temelli bir öğrenme ortamı oluşturmaktır. Bu doğrultuda İzmir ve Manisa'daki müzeler ile uluslararası(Louvre) koleksiyonlarda yer alan binlerce Aiolis eserine ait görseller taranmış; bu materyaller arasından seçilen yaklaşık 60 eser dijitalleştirilerek antik kentlere göre sınıflandırılmıştır. Söz konusu sınıflandırma; dini inanç, ticaret, gündelik yaşam, eğlence, üretim ve ikonografi gibi temalarla desteklenmiş ve Aiolis'in çok katmanlı kültürel yapısı ilk kez bütüncül bir dijital sergi modeline dönüştürülmüştür. Bu proje, müzesi olmayan bir kentte dijital müze modeliyle kültürel mirasın ilk kez bütüncül biçimde sunulmasını amaçlamaktadır.

Dijital müzede yalnızca eser görselleri sunulmamış; **her esere ilişkin kısa açıklamalar** ve tarihsel bağlam bilgileri de eklenmiştir. Kullanıcıların bilgiye hızlı ve etkili biçimde erişimini sağlamak amacıyla tüm eserler QR kodlar aracılığıyla Canva üzerinde hazırlanan bilgilendirme panolarına yönlendirilmiş; böylece müze hem **etkileşimli bir öğrenme materyali** hem de dijital bir başvuru kaynağı niteliği kazanmıştır. Ayrıca gezenleri aktif halde tutmak amacıyla her salon bilgisinin altına QR kodlar eklenerek salonla ilgili **kente ilişkin 3 soruluk Google forma** yönlenmeleri sağlanmıştır. Bazı eserlere QR kodlar konulmuş ve eserlerin **sürpriz** levhası ile **eksik heykellerin tamamlanmış hali, o nesnelerin günlük kullanım resimleri ve esprili konuşma baloncukları** eklenmiştir. Böylece öğrencilerin müzede eğlenceli zaman geçirmeleri sağlanmıştır. Vr gözlükle de gezilen müzede sesli rehber anlatımı ve her salonda kente ilişkin videolar bulunmaktadır. Gezi sonrası öğrenciler için "***Müze Etkinlik Kitabı***" hazırlanmıştır. Müzedeki tüm salon bilgilerinin yer aldığı "***Aiolis Arkeoloji ve Çini Müzesi Rehberi***" de hazırlanmış ve böylece müze eserleri derli toplu bir eserde toplanmıştır. Aiolis'e ilişkin **eğitici bir çocuk şarkısı hazırlanarak "*Aiolis Okulu*"** adlı youtube kanalında(8 shorts, 1 video) yayınlanmıştır. Aiolis'e ilişkin yazılı ve görsel kaynakların sınırlılığı göz önünde bulundurulduğunda, bu dijital yapı aynı zamanda literatürdeki erişim sorununu da doğrudan gidermektedir.

Projenin yenilikçi yönlerinden biri, Aiolis kültürünü yalnızca aktarmakla sınırlı kalmayıp öğrencileri bu kültürel mirasın yeniden üreticisi hâline getiren **çini tasarım atölyesi**dir. Atölye kapsamında öğrenciler; Aiolis ikonografisine ait hayvan figürleri, tanrı tasvirleri, geometrik desenler, mimari eserler ve sikkeleri çini tasarımlarına uyarlamış ve toplam 30 özgün çini eseri üretmiştir. Böylece kadim çini sanatını öğrencilerin tanımaları ve deneyimlemeleri sağlanmıştır. Bu eserler dijital müzeye entegre edilerek öğrenci üretimleri görünür kılınmış, QR kodlarla açıklamalara yönlendirilerek kültürel mirasın üretim yoluyla içselleştirilmesi desteklenmiştir. Sürecin sonunda hazırlanan **"Aiolis Dijital Arkeoloji ve Çini Müzesi Rehberi"** Canva ortamında erişime açılmıştır. Bu eserin son bölümünde çini eserlere ilişkin açıklamalar tek tek verilmiştir. Böylece müze etkileşimli bir öğrenme ortamına dönüştürülmüştür. Böylece öğrenciler pasif bilgi alıcısı olmaktan çıkarılarak aktif, deneyim temelli bir öğrenme sürecine dâhil edilmektedir. Müze her öğrenci tarafından kolaylıkla erişilebilen, sürdürülebilir ve pedagojik açıdan işlevsel dijital çözümler tercih edilmiştir. Böylece proje, teknoloji–amaç uyumunu gözeten bütüncül bir kültürel miras eğitimi modeli ortaya koymaktadır.

Bu projenin Ar-Ge niteliği, Aiolis'e ait dağınık durumdaki kültürel ve arkeolojik verilerin ilk kez tematik ve pedagojik bir yaklaşımla dijital müze ortamında bir araya getirilmesinden kaynaklanmaktadır. Proje yalnızca dijital bir sergileme sunmakla kalmamakta; QR kodlar, etkileşimli içerikler ve öğrenci üretimlerine dayalı uygulamalarla özgün bir öğrenme modeli geliştirmektedir. Öğrencilerin dijital müze deneyimi sürecinde kültürel miras farkındalığı, tarihsel empati, mekân algısı ve üretim temelli öğrenme becerilerindeki değişimlerin incelenmesi, projeye uygulamalı bir araştırma niteliği kazandırmaktadır. Bu yönüyle çalışma, yerel tarih öğretimi için geliştirilen yenilikçi bir dijital müze modeli olarak Ar-Ge özelliği taşımaktadır.

Sonuç olarak bu proje, Aiolis'in tarihsel ve kültürel mirasını ilk kez bütüncül ve erişilebilir bir biçimde görünür kılmakta; öğrencilerin yaşadıkları çevreyle tarihsel bağ kurmalarına olanak sağlayan yenilikçi bir öğrenme modeli ortaya koymaktadır. Müzesi bulunmayan bir yerleşim için öğretim programıyla uyumlu, sürdürülebilir ve dijital temelli bir kültürel miras çözümü sunan proje, öğretmenler için hazır ve yönlendirici bir öğretim materyali niteliği taşımaktadır. Bu yönüyle müze eksikliğinden kaynaklanan öğrenme boşluğunu gidermektedir. Proje, hem eğitimde eşit erişimi destekleyen hem de yerel kültürel mirasın korunması ve aktarılmasına katkı sunan etkili ve uygulanabilir bir öğrenme modeli olarak öne çıkmaktadır.

Yöntem

Bu proje, öğrenci merkezli öğrenme yaklaşımı temel alınarak planlanmış ve dijital müze içeriği öğrencilerin aktif katılımıyla oluşturulmuştur. Öğrenciler, Aiolis uygarlığına ait antik kentler hakkında araştırma yapmış; müzelerde eserleri inceleyip fotoğraflamış, seçilen eserlerin tarihsel bağlamı ve kültürel özelliklerine ilişkin bilgileri derleyerek dijital müze salonlarının içeriklerini hazırlamıştır. Kent salonlarının tematik kurgusu, eser seçimleri, açıklama metinleri, yönlendirici sorular ve kare kodlu içerikler öğretmen rehberliğinde öğrenciler tarafından geliştirilmiştir. Ayrıca dijital müzede(**https://www.artsteps.com/view/69133648b41208d231005ef0**) yer alan tanıtım videoları ve rehberli sesli anlatımlar, öğrencilerin hazırladığı metinler doğrultusunda planlanmış ve içerik akışı öğrenciler tarafından düzenlenmiştir. Bu süreçte öğrenciler, araştırma, dijital ve kültürel okuryazarlık becerilerini bütüncül biçimde kullanmıştır.

Bu araştırmada **kontrol gruplu ön test–son test yarı deneysel desen** kullanılmıştır. Çalışmanın amacı, **Aiolis Uygarlığı temalı dijital müze deneyiminin**, öğrencilerin **kültürel miras farkındalığı**, **tarih bilinci** ve **dijital öğrenmeye yönelik tutumları** üzerindeki etkisini incelemektir. Araştırma kapsamında fiziksel bir müze gezisi gerçekleştirilmemiş; bunun yerine öğrenciler, proje kapsamında geliştirilen **"Aiolis Dijital Arkeoloji ve Çini Müzesi"**ni sanal ortamda deneyimlemiştir. **Araştırmanın çalışma grubunu**, İzmir ili Aliağa ilçesinde bulunan **Gazi Ortaokulu** ve **Aliağa Ortaokulu'**nda öğrenim gören **6. sınıf öğrencileri** oluşturmaktadır. Katılımcılar gönüllülük esasına göre belirlenmiştir. Araştırmada yer alan deney ve kontrol gruplarına ilişkin okul, sınıf ve öğrenci sayıları Tablo 1'de sunulmuştur.

Okul	**Sınıf**	**Grup Türü (Deney/Kontrol)**	**Öğrenci Sayısı**
Gazi Ortaokulu	6-D	K	26
Gazi Ortaokulu	6-C	D	26
Aliağa Ortaokulu	6-E	K	31
Aliağa Ortaokulu	6-D	D	33

Tablo 1: Okullara Göre Deney–Kontrol Grupları ve Öğrenci Sayıları Tablosu

Veri Toplama Araçları: Araştırmada **nicel ve nitel verileri birlikte ele alan** çoklu ölçme araçları kullanılmıştır:

1. **İhtiyaç Analizi Anketi:**Öğrencilerin yaşadıkları bölgedeki antik kentlere yönelik bilgi düzeylerini, müze deneyimlerine ilişkin görüşlerini ve dijital öğrenmeye olan ilgilerini belirlemek amacıyla uygulanmıştır. Ölçek, Likert tipi maddeler ve bir açık uçlu sorudan oluşmaktadır. Elde edilen veriler frekans ve yüzde dağılımları üzerinden yorumlanmıştır.
2. **Ön Test – Son Test Formu:** Öğrencilerin Aiolis uygarlığına ilişkin bilgi düzeylerini ve kültürel miras farkındalıklarını ölçmek amacıyla çoktan seçmeli ve Likert tipi maddelerden oluşan bir ölçme aracı kullanılmıştır. Ön test ve son test puanları karşılaştırılarak dijital müze deneyiminin etkisi incelenmiştir.
3. **Dijital Müze Değerlendirme Soruları:** Dijital müze deneyimi sonrasında öğrencilerin müzeye yönelik algılarını, ilgi düzeylerini ve öğrenme deneyimlerini belirlemek amacıyla Likert tipi maddelerden oluşan bir değerlendirme formu uygulanmıştır.
4. **Çini Atölyesi Tutum ve Kazanım Ölçeği:** Proje kapsamında planlanan çini atölyesi etkinliklerinin uygulanabilmesi amacıyla, **Aliağa Bilim ve Sanat Merkezi Müdürlüğü'nden gerekli izinler alınmış**, atölye çalışmaları kurum bünyesinde açılan çini atölyesinde gerçekleştirilmiştir. Çini atölyesine 14 Ekim'de başlanmış olup 4 bilsem öğrencisi(4 ve 5.sınıf) devam etmektedir. Atölyeye 3 Gazi Ortaokulu, 3 Aliağa OO'ndan öğrenci katılmıştır. Çini

atölyesine katılan sınırlı sayıdaki öğrenciyle (n=10) uygulanan bu ölçek; **tarih ve kültürel miras algısı**, **kişisel ve sosyal gelişim**, **gelecek yönelimi** olmak üzere üç alt boyuttan oluşmaktadır. Örneklem büyüklüğünün sınırlı olması nedeniyle analizler **alt boyut düzeyinde**, **yüzdelik dağılımlar** üzerinden yapılmıştır.

5. **Uzman Görüşü:** Manisa CBÜ Arkeoloji bölümünden Araş. Gör. Baykal Başdemir'den Aiolis'in neden yeterince hatırlanmadığı, neden bölgede bütüncül bir müze bulunmadığı ve dijital müzenin bu boşluğu doldurmadaki rolüne ilişkin toplam 5 açık uçlu soru yöneltilmiştir. Bu sorular aracılığıyla, çalışmanın kavramsal çerçevesi ve müzenin kültürel miras farkındalığına katkısı değerlendirilmiştir.

Uygulama Süreci: **Uygulama süreci iki oturumda gerçekleştirilmiştir. Her iki okulda da ikişer adet 6. sınıf belirlenmiş; sınıflardan** biri **kontrol grubu**, **diğeri** deney grubu **olarak atanmıştır.**



Fotoğraf 2: İzmir Kültür Sanat Fabrikası Arkeoloji Müzesi



Fotoğraf 3: Gazi Ortaokulu'nda uygulama



Fotoğraf 4:Aliağa Ortaokulunda Uygulama

***Kontrol grubuna**, ön test uygulanmış; ardından Aiolis ve antik kentler hakkında **sunu destekli düz anlatım** yapılmış ve son test uygulanmıştır.

Deney grubuna** ise ön test sonrasında "AİOLİS DİJİTAL ARKEOLOJİ VE ÇİNİ MÜZESİ***" tanıtılmıştır. Araştırma kapsamında oluşturulan dijital müze, Aiolis kentlerine ait eserlerin görsel, yazılı, işitsel ve etkileşimli içeriklerle sunulduğu bir öğrenme ortamı olarak tasarlanmıştır. Müze sürecinde öğrenciler, salonlarda yer alan **eser anlatımlarına** QR kodlar aracılığıyla canvada erişmiş; her kente ait **soru QR kodları** üzerinden Google Form ortamında yönlendirilen üç soruyu yanıtlamıştır. Müze içerisinde yer alan **sürpriz QR kodlar** sayesinde öğrenciler, tamamlanmış heykel görsellerine, konuşan eser kurgularına ve eserlerin günlük kullanımına ilişkin görsellere ulaşmıştır. Ayrıca çini eserler için hazırlanan sesli anlatımlar, ayrı QR kodlar aracılığıyla sunulmuştur. Sesli rehber ve her salona özgü videolar izlenmiştir. Bunun yanı sıra proje kapsamında hazırlanan "**Aiolis okulu**" adlı youtube kanalında yer alan **Aiolis adlı çocuk şarkısı**, video ve shortslar müze içeriğine entegre edilerek öğrencilerin müze deneyimini işitsel açıdan destekleyen bir öğrenme unsuru olarak kullanılmıştır. Çalışma, yalnızca tanıtım odaklı bir uygulama değil; eğitim ortamlarında kullanılabilir, **uygulanabilir bir dijital müze modeli** ortaya koymayı hedeflemektedir. Dijital müze deneyiminin ardından son test ve dijital müze değerlendirme soruları uygulanmıştır. Deney sürecini tamamlayıcı olarak seçilen öğrencilerle Aliağa Bilsem'de **çini/seramik atölyesi** açılmıştır. **Ö**ğrenciler Aiolis ikonografisinden esinlenerek **10×10 cm çini karolar ve çini tabaklar** tasarlamıştır. Çalışmalar çizim, desen aktarımı, boyama ve sır öncesi aşamalarını içermiştir.



Fotoğraf 5: Çini atölyesi



Fotoğraf 6: Çini Gazi OO



Fotoğraf 7: Çini karolar

Verilerin Analizi: **İhtiyaç analizi ve tutum ölçeklerinden elde edilen veriler** frekans ve yüzde dağılımları **üzerinden analiz edilmiştir. Ön test–son test verileri için** aritmetik ortalama ve standart sapma değerleri **hesaplanmış; deney ve kontrol gruplarındaki değişim** eşleştirilmiş örneklemler t-testi **ile incelenmiştir. Çini atölyesi ölçeğinden elde edilen veriler ise örneklem büyüklüğü dikkate alınarak** alt boyut bazlı yüzdelik yorumlar **üzerinden değerlendirilmiştir.**

Bulgular

Bu bölümde, dijital müze içeriği, QR kod uygulamaları ve ölçme-değerlendirme sürecinden elde edilen bulgulara yer verilmiştir. Ölçme ve değerlendirmeye ilişkin ayrıntılı tablolar Ekler bölümünde yer almaktadır. Uzman görüşü de alınmıştır.

1- Dijital Müze Uygulamasına İlişkin Bulgular

Aiolis Dijital Arkeoloji ve Çini Müzesi kapsamında, **Kyme, Larisa, Aigai, Gryneion, Smyrna, Elaia, Pitane, Myrina, Neonteikhos ve Notion** antik kentlerine ait toplam **60 eser** dijital ortamda tematik ve kronolojik bir kurgu içinde sunulmuştur. Bu eserler; **İzmir Kültür Sanat Fabrikası**, **İzmir Arkeoloji Müzesi**, **Manisa Arkeoloji Müzesi**, **Bergama Müzesi**, **Medelhavsmuseet (Stockholm)**, **Louvre Müzesi** ve **İzmir Müze Müdürlüğü koleksiyonları** gibi farklı ulusal ve uluslararası müzelerden derlenmiştir. Bu durum, Aiolis kültürel mirasının hem yerel hem de uluslararası ölçekte temsil edildiğini göstermektedir. Tematik dağılım incelendiğinde, eserlerin **%48,5'i** günlük yaşam, sofra kültürü, ev içi kullanım, müzik ve dokuma temalarıyla ilişkilidir. **İnanç, adak, mitoloji ve tanrılar** teması eserlerin **%33,3'ünü**, **ticaret, ekonomi ve kimlik** teması ise **%18,2'sini** oluşturmaktadır. Bu bulgular, Aiolis kentlerinde gündelik yaşam pratiklerinin ve inanç sistemlerinin toplumsal yapı içerisinde önemli bir yer tuttuğunu ortaya koymaktadır. Eserler tıklandığında müze etiket bilgileri ve eser bilgileri görülebilmektedir. Eser türleri açısından figürinler, seramik kaplar, takılar, sikkeler, heykeller, mühürler ve mezar buluntularının öne çıktığı görülmektedir. Bu çeşitlilik, dijital müzenin Aiolis kentlerinin sosyal, ekonomik ve kültürel yapısını çok boyutlu biçimde yansıtmasına olanak sağladığını göstermektedir.

Aiolis eserlerine bakıldığında, bu bölgenin Antik Çağ'da gösterişten çok **yaşamın sürekliliğine** odaklanan özgün bir kültürel kimlik geliştirdiği görülür. Amphoralar, sikkeler, terrakotta figürinler ve mimari kalıntılar; Aiolis'in deniz ticaretiyle bağlantılı olmasına rağmen toprağa ve yerel üretime sıkı sıkıya bağlı kaldığını, deniz ile kırsal hayat arasında dengeli bir ilişki kurduğunu ortaya koyar. Özellikle gündelik yaşamı yansıtan küçük ölçekli eserler, Aiolis sanatının elit bir zümreye değil, toplumun tamamına hitap eden bir anlatım dili benimsediğini göstermektedir. Kadın figürlerinin ve ev içi sahnelerin sanatta sıkça yer alması, toplumsal hayatın merkezinde gündelik emeğin ve sürekliliğin bulunduğunu düşündürür. İnanç sistemi ise büyük ve anıtsal tapınaklardan ziyade, kişisel adaklar ve yerel tanrı betimleri üzerinden okunmakta; bu durum Aiolis'te kutsal olanın gündelik hayatla iç içe yaşandığını göstermektedir. Mimari ve süsleme anlayışında da doğaya uyumlu, sade ve işlevsel bir yaklaşım dikkat çeker. Tüm bu veriler birlikte değerlendirildiğinde Aiolis, büyük siyasi iddialar yerine dengeli yaşam, yerel kimlik ve kültürel süreklilik üzerine kurulmuş; sessiz ama derin izler bırakan bir uygarlık olarak tanımlanabilir.

Aşağıda, Artstepste yer alan Aiolis Dijital Arkeoloji ve Çini Müzesi levhaları ile QR kodları, Aiolis kentlerinin her birine ait müze salonlarında yer alan **eserlere ilişkin bilgilerin** bulunduğu Canva sayfalarına yönlendiren QR kodlara; müze salonları için hazırlanmış, **ilgili antik kente yönelik soruların yer aldığı Google Formlara yönlendiren** QR kodlara; **müze kitapları ve şarkısı** ile YouTube kanalına ait QR kodlara ve Aiolis salonlarında kullanılan **sürpriz içerikli** QR kodlara yer verilmiştir. Ayrıca her esere tıklandığında müze etiketi ve eser bilgisi

görülmektedir. Dijital müzeye entegre edilen QR kodlu etkinlikler ve Google Form uygulamaları, araştırma verisi toplamak amacıyla değil; öğrencilerin müze ile etkileşimini artırmak, öğrenme sürecini desteklemek ve geri bildirim almak amacıyla hazırlanmıştır. Bu nedenle söz konusu formlar üzerinden nicel bir analiz yapılmamıştır. Salonlara yerleştirilen QR kodlar sayesinde öğrencilerin eserleri yalnızca görsel düzeyde incelemedikleri; eserlerin ait olduğu antik kentler ve kültürel bağlamları hakkında dijital içeriklere erişerek bilgiyi derinleştirdikleri belirlenmiştir. Ölçme-değerlendirme amaçlı QR kodlar aracılığıyla yöneltilen soruların, öğrencilerin dikkatini artırarak öğrenmenin pekişmesine katkı sağladığı; sürpriz QR kodlar sayesinde ise merak duygusunun harekete geçtiği ve müze deneyiminin daha etkileşimli hâle geldiği tespit edilmiştir. Elde edilen bulgular, QR kodların kültürel miras eğitiminde etkili ve bütüncül bir öğrenme aracı olarak işlev gördüğünü ortaya koymaktadır. Müzede her kente ilişkin **video ve rehberli sesli** gezi bulunmaktadır. VR gözlükle de müze gezilebilmektedir.

1.1. Artstepsteki Müzenin Levhaları ve Kare Kodları

 Artstepsdeki müzenin levhası	 Artstepsteki müzenin açıklaması	**ARTSTEPTEKİ MÜZENİN LİNKİ: https://www.artsteps.com/view/69133648b41208d231005ef0(bilgisayarda açmanız daha etkin)** **KARE KODU:**

1.2-Aiolis Kentlerine İlişkin Her Salondaki Eserlere İlişkin Canva Metinlerine Ulaşmak İçin Qr

Aiolis Kentlerine İlişkin Her Salondaki Eserlere İlişkin Canva Metinlerine Ulaşmak İçin QR		
Aigai salonu QR kodu	Elaia Salonu QR kodu	Kyme Salonu QR Kodu
Gryneion Salonu QR Kodu	Larisa Salonu QR Kodu	Smyrna Salonu QR Kodu
Myrina Salonu QR Kodu	Neonteikhos Kenti QR Kodu	Notion Kenti Salonu QR Kodu
Pitane Kenti Salonu QR Kodu	Tüm Salondaki Eserlerin Toplandığı Müze Rehberi Kare Kodu(AİOLİS DİJİTAL **ARKEOLOJİ VE ÇİNİ MÜZESİ REHBERİ**) Bu rehberde uygulama sonrası Aliağa'daki okullarla paylaşılmıştır.	

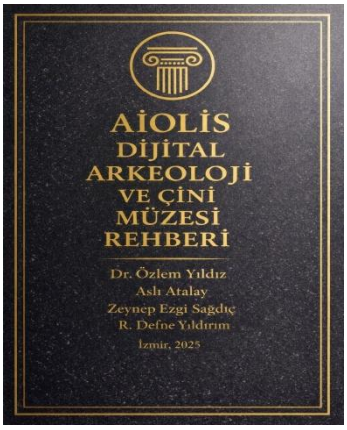
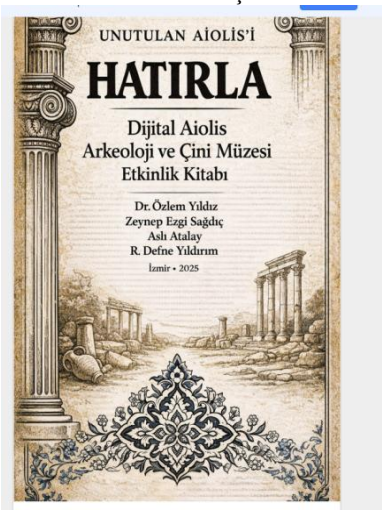
Tablo 2: Aiolis Kentlerine İlişkin Her Salondaki Eserlere İlişkin Canva Metinlerine Ulaşmak İçin QR

1.3-Müze Salonları Google Forma Giden Antik Kente İlişkin Soru QR Kodları

<table>
<tr><td colspan="3">Müze Salonlarında Google Forma Giden Antik Kente İlişkin Soru Qr Kodları(Google Form soruları, öğrencilerin antik kentlere ilişkin bilgi düzeylerini, çıkarım yapabilme becerilerini ve müze deneyimine yönelik yansıtıcı görüşlerini ortaya koyacak şekilde yapılandırılmıştır)</td></tr>
<tr><td>Kyme soruları:
https://forms.gle/vLgBbrzBiXSbG9ir8</td><td>AİGAİ:
https://forms.gle/rgwEhEeDGoKYegBW8</td><td>Myrina :
https://forms.gle/pz6GPLmQ4TEon1E39</td></tr>
<tr><td>Gryneion:
https://forms.gle/dSQ1gnFDEX7Qa7Fv9</td><td>Elaia :
https://forms.gle/ZCP4g3EsdMsSKxwe8</td><td>Neonteikhos:
https://forms.gle/thoRLS2wsnS8KqHq7</td></tr>
<tr><td>Larisa:
https://forms.gle/X6UkjnjB11sz7seD9</td><td>Notion:
https://forms.gle/cCC6n14jw4H24eXQ8</td><td>Smyrna:
https://forms.gle/8KRbqgsMMLbw7HJf6</td></tr>
<tr><td>Pitane:
https://forms.gle/BTtW6RP1nSPivbCBA</td><td colspan="2">
</td></tr>
</table>

Tablo 3: Müze Salonları Google Forma Giden Antik Kente İlişkin Soru QR Kodları

1.4-Müze Kitapları ve Şarkısı

Müze Kitapları Ve Şarkısı		
Aiolis Dijital Arkeoloji ve Çini Müzesi Rehberi: https://www.canva.com/design/DAG426TiRpc/7vKv2nISXNJ38sVdkWBKDA/view?utm_content=DAG426TiRpc&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=uniquelinks&utlId=h8f3e5d8186 Müzedeki QR kodlarla eserlere ilişkin salon salon bilgilere ulaşılabilmekte olduğu gibi tüm bu bilgileri tek bir kitap halinde topladık. 	Aiolis Dijital Arkeoloji ve Çini Müzesi Etkinlik Kitabı: https://www.canva.com/design/DAG7xg8mUU0/uteQTnU4_LiQaNlRbwcqxA/view?utm_content=DAG7xg8mUU0&utm_campaign=designshare&utm_medium=link2&utm_source=uniquelinks&utlId=he30898b66d Dijital müze etkinliği sonrası yaygınlaştırma amacıyla uygulama yaptığımız okullara e-etkinlik kitabı verilmiştir. 	Aiolis Okulu Youtube Kanalı Aiolis_Şarkısı_QR Kodu Youtube "Aiolis okulu" adlı hesapta yayınladığımız şarkı 4 Ocak itibariyle 1250 izlenme aldı. (shorts) Aiolis adlı video bulunmaktadır. Aiolis okulu adlı kanalda Aiolise ilişkin çini çalışmaları görselleri ve Aiolis eserlerine ilişkin müzelerde yaptığımız çekimleri içeren kısa shorts tarzı videolar bulunmaktadır. İzlenme oranları 300 kişi gibidir.

Tablo 4: Müze Kitapları ve QR Kodları

1.5-Aiolis Müzesi Eserlerinin Sürpriz İçeren QR Kodları

Aiolis Salonları Sürpriz İçeren QR Kodları  (Bu QR kodlar tamamlanmış heykel, nesnelerin gündelik kullanımı, eğlenceli konuşma balonlarına yönlendirir)		
Notion Kepçe İle İle İlgili Kullanımını Gösteren Sürpriz İçerik	Kyme Altınları Sürpriz İçerik	Elaia Mezar Steli Başında Erkek

Myrina Salonu Eros Heykeli Konuşma Balonu	Aigai Salonu Hestia Heykeli Konuşma Balonlu	Larisa Seramikleri
Notion Artemis Kabartması Konuşma Balonu	Dümbelek Çalan Erkek Eski Smyrna	Destekli Krater Taşıyan Antik Kadın, Eski Smyrna
Kyme Salonu – Amphoriskos Ve Alabastron Kullanan Kadın Figürü	Aigai Salonu-Afrodit Heykeli Tamamlanmış Hali	**ÇİNİ ESERLER SALONU SESLİ ANLATIMI**

Tablo 5: Aiolis Müzesi Eserlerinin Sürpriz İçeren QR Kodları

Müzede her kente ilişkin videolar ile sesli rehber eşliğinde gezme imkânı vardır. Proje kapsamında geliştirilen dijital müzenin ders süreçlerinde etkili biçimde kullanılabilmesi amacıyla **öğretmenlere yönelik bir kullanım rehberi** hazırlanmıştır. Dijital müzenin ders kazanımlarıyla eşleştirilmesine ve uygulama sürecine ilişkin ayrıntılar Ekler bölümünde sunulmuştur (Bkz. Ek 14)

2-Ölçme ve Değerlendirme: (İhtiyaç analizi, ön test, son test ve çini tutum ölçeği uygulamaları) Bu bölümde, proje kapsamında uygulanan ölçme ve değerlendirme araçlarına **ilişkin temel bulgulara yer verilmiştir**. Ana metinde **sınırlı ve özet veriler sunulmuş**, ayrıntılı tablolar ve **ham veriler ekler bölümünde** paylaşılmıştır. Elde edilen veriler, projenin etkililiğini ortaya koymak ve öğrenme sürecindeki değişimi izlemek amacıyla kullanılmıştır.

2.1. İhtiyaç Analizi

Aliağa Ortaokulu ve Gazi Ortaokulu öğrencilerine yönelik olarak yürütülen ihtiyaç analizi çalışmasına farklı sınıf düzeylerinden toplam 81 öğrenci katılmıştır(https://forms.gle/byqhD9s8x3aZCKms8). Çalışma, öğrencilerin kültürel miras farkındalıklarını, müze deneyimlerine ilişkin tutumlarını ve dijital öğrenme araçlarına yönelik eğilimlerini belirlemek amacıyla hazırlanmıştır. Veri toplama aracı, Likert tipi maddeler ve bir açık uçlu sorudan oluşmaktadır.

İhtiyaç analizi sonuçları, **öğrencilerin yaşadıkları bölgedeki antik kentler ve yerel kültürel miras unsurları hakkında yeterli bilgiye sahi**p olmadıklarını ortaya koymuştur. Öğrencilerin yalnızca yaklaşık %44'ü yaşadığı çevredeki antik kentleri tanıdığını belirtirken, önemli bir kısmı bu konuda kararsız veya olumsuz görüş bildirmiştir. Bu durum, bölgedeki arkeolojik

zenginliğin eğitim ortamlarına yeterince yansımadığını göstermektedir. Öğrencilerin büyük çoğunluğu **müze ziyaretlerini eğlenceli ve öğretici olarak** değerlendirmektedir. Ancak okullarında veya yaşadıkları çevrede yeterli müze temelli etkinlik yapılmadığını düşünen öğrenci oranının yüksek olması, uygulamalı ve deneyim temelli öğrenme fırsatlarının sınırlı kaldığını göstermektedir. Aliağa ve çevresinde bir müzenin bulunmaması, öğrencilerin tarihî ve kültürel mirasla doğrudan etkileşim kurma ve Aiolis bölgesini tanıma imkânlarını kısıtlamaktadır.

İhtiyaç analizi bulguları, **öğrencilerin dijital araçlarla desteklenen öğrenme ortamlarına** açık olduğunu da ortaya koymuştur. Öğrencilerin yarıdan fazlası tarihi ve kültürel mirası öğrenirken dijital araçları kullanmak istediğini ve sanal müze uygulamalarının öğrenmeyi kolaylaştıracağını ifade etmiştir. Açık uçlu sorulara verilen yanıtlarda ise antik kent kalıntıları, günlük yaşam nesneleri, sesli anlatımlar, 3d görseller ve etkileşimli dijital içeriklere yönelik beklentilerin öne çıktığı görülmüştür. Elde edilen bu bulgular, **bölgede fiziksel müze eksikliğine bağlı olarak öğrencilerin kültürel mirasa erişiminde bir sınırlılık olduğunu ve dijital müze temelli uygulamalara yönelik belirgin bir ihtiyaç bulunduğunu göstermektedir**. Bu bağlamda proje kapsamında planlanan sanal müze, QR kodlu içerikler, uygulamalı atölyeler ve dijital destekli öğrenme etkinlikleri, belirlenen ihtiyaca doğrudan yanıt vermeyi amaçlamaktadır.

İfadeler	**Olumlu(%)**	**Kararsız(%)**	**Olumsuz (%)**
Yaşadığım bölgedeki antik kentleri tanıyorum	44	27	29
Müze ziyaretleri benim için eğlenceli ve öğreticidir	69	1	30
Okulumda veya çevremde yeterli müze etkinliği yapılmaktadır	31	19	51
Tarihi ve kültürel mirası öğrenirken dijital araçları kullanmak isterim	57	9	35
Sanal müze uygulamaları öğrenmemi kolaylaştırır	52	19	30

Tablo 6: Öğrencilerin Kültürel Miras, Müze ve Dijital Öğrenmeye Yönelik İhtiyaç Analizi Bulguları

2.2. Öntest-Sontest

2.2.1. Test 1 ve Test 2 Ön Test–Son Test Bulguları

Tablo 7'ye göre, deney gruplarında ön testten son teste doğru başarı oranlarında artış gözlenmiştir. Bu artış Test 2'de daha belirgin olup, kontrol gruplarında gözlenen değişim sınırlı düzeydedir. Bulgular, dijital müze destekli öğretimin öğrenme sürecine katkı sağladığını göstermektedir. Asıl tablolar eklerdedir.

Okul	Test	Grup	Ön Test Başarı Oranı (%)	Son Test Başarı Oranı (%)
Aliağa Ortaokulu	Test 1	Deney	55	92
Aliağa Ortaokulu	Test 1	Kontrol	55	70
Aliağa Ortaokulu	Test 2	Deney	55	97
Aliağa Ortaokulu	Test 2	Kontrol	50	72
Gazi Ortaokulu	Test 1	Deney	58	90
Gazi Ortaokulu	Test 1	Kontrol	57	68
Gazi Ortaokulu	Test 2	Deney	54	96
Gazi Ortaokulu	Test 2	Kontrol	52	71

Tablo 7: Aliağa ve Gazi Ortaokulları Deney ve Kontrol Gruplarının Test 1 ve Test 2 Ön Test–Son Test Başarı Oranları (%)

2.1.2. Tutum Ölçeği

Tablo 8 incelendiğinde, Aliağa ve Gazi Ortaokullarında yer alan deney gruplarının tutum ölçeğine ait tüm maddelerde ön testten son teste doğru **olumlu yönde artış** gösterdiği görülmektedir. Deney gruplarında özellikle kültürel mirasa ilgi, Aiolis uygarlığını tanımanın geçmişi anlamaya katkısı, tarihi eserlerle bağ kurma ve dijital yollarla tarih öğrenmeye yönelik tutumlarda belirgin yükselişler dikkat çekmektedir. Buna karşılık, kontrol gruplarında tutum puanlarının çoğu maddede **sınırlı düzeyde değiştiği** ya da bazı maddelerde **hafif düşüş gösterdiği** tespit edilmiştir.

İki okul birlikte değerlendirildiğinde, başlangıç düzeyinin görece daha düşük olduğu Gazi Ortaokulu deney grubunda bazı maddelerde artışın daha yüksek olması, dijital müze destekli uygulamanın özellikle ihtiyaç düzeyi daha belirgin olan gruplarda daha güçlü etki oluşturduğunu düşündürmektedir. Aliağa Ortaokulu deney grubunda ise ön testte zaten yüksek olan tutum puanlarının son testte daha da yükselmesi, uygulamanın mevcut olumlu tutumları pekiştirici bir rol üstlendiğini göstermektedir.

Genel olarak elde edilen bulgular, dijital müze destekli öğretim sürecinin öğrencilerin tarihî ve kültürel mirasa yönelik tutumlarını, derse olan ilgilerini ve dijital öğrenme araçlarına açıklıklarını olumlu yönde etkilediğini ortaya koymaktadır. Kontrol gruplarında benzer bir değişimin gözlenmemesi, tutumlarda meydana gelen bu gelişimin uygulama süreciyle ilişkili olduğunu göstermektedir.(Asıl tablolar eklerdedir)

Okul	Likert Maddesi	Deney Ön	Deney Son	Kontrol Ön	Kontrol Son
Aliağa Ortaokulu	Likert 1	4,50	4,78	4,41	4,14
Aliağa Ortaokulu	Likert 2	4,25	4,71	4,18	4,12
Aliağa Ortaokulu	Likert 3	4,28	4,69	4,01	3,94
Aliağa Ortaokulu	Likert 4	4,32	4,81	4,07	4,04
Aliağa Ortaokulu	Likert 5	4,65	4,88	4,48	4,35
Aliağa Ortaokulu	Likert 6	4,26	4,73	4,08	3,86
Gazi Ortaokulu	Likert 1	2,95	4,15	2,95	3,07
Gazi Ortaokulu	Likert 2	3,45	3,85	3,23	3,25
Gazi Ortaokulu	Likert 3	3,90	4,18	3,74	3,80
Gazi Ortaokulu	Likert 4	4,34	4,50	4,31	4,34
Gazi Ortaokulu	Likert 5	4,30	4,48	4,23	4,32
Gazi Ortaokulu	Likert 6	2,95	4,15	2,95	3,07

Tablo 8: Aliağa ve Gazi Ortaokulları Deney ve Kontrol Gruplarının Tutum Ölçeği Ön Test–Son Test Ortalama Puanları

2.1.3. Deney Grupları Dijital Müze Değerlendirme Soruları

Tablo 9 incelendiğinde, sanal müze deneyimine katılan deney grubu öğrencilerinin dijital müze değerlendirme maddelerine genel olarak **yüksek düzeyde olumlu yanıtlar** verdiği görülmektedir. "*Dijital müzede eserleri üç boyutlu (3B) görmek, tarihi daha iyi anlamamı sağladı.*" maddesi en yüksek ortalamaya (≈4,70) sahip olup, öğrencilerin büyük çoğunluğunun bu görüşe katıldığı anlaşılmaktadır. Bu bulgu, üç boyutlu dijital sunumların öğrenme sürecini desteklediğini göstermektedir.

"*Sanal müze gezisi sırasında Aiolis uygarlığı hakkında yeni bilgiler öğrendim*." maddesine verilen yanıtlar da yüksek düzeydedir (ortalama ≈4,35). Öğrencilerin önemli bir bölümünün bu maddeye olumlu yanıt vermesi, sanal müze uygulamasının bilişsel öğrenmeye katkı sağladığını ortaya koymaktadır. "*Bu dijital müze deneyimi, beni gerçek bir müzeyi ziyaret etmeye teşvik etti.*" maddesi diğer maddelere kıyasla daha düşük bir ortalamaya sahip olmakla birlikte (≈3,80), öğrencilerin çoğunluğunun bu maddeye de olumlu yaklaştığı görülmektedir. Bu durum, sanal müze deneyiminin fiziksel müze ziyaretine yönelik motivasyonu desteklediğini, ancak bu etkinin güçlenmesi için ek yönlendirmelere ihtiyaç duyulabileceğini düşündürmektedir.

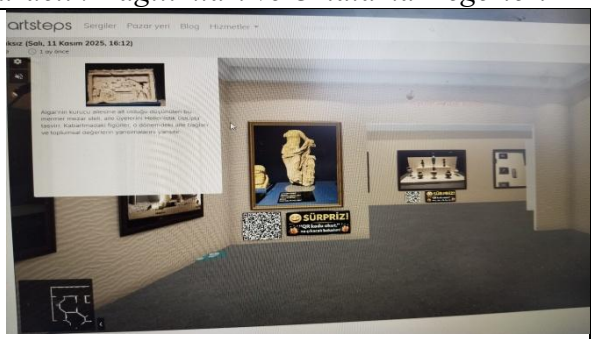
Genel olarak değerlendirildiğinde, deney grubu öğrencilerinin dijital müze deneyimini olumlu algıladıkları ve sanal müze uygulamasının öğrenme sürecine katkı sağladığı anlaşılmaktadır.

Puan	**1. Madde (%)**	**2. Madde (%)**	**3. Madde (%)**
1 – Kesinlikle Katılmıyorum	0	0	5
2 – Katılmıyorum	0	5	10
3 – Kararsızım	5	10	15
4 – Katılıyorum	20	30	40
5 – Tamamen Katılıyorum	75	55	30
Ortalama	4,70	4,35	3,80

Tablo 9: Sanal Müze Deneyimine Katılan Deney Grubu Öğrencilerinin Dijital Müze Değerlendirme Sorularına İlişkin Yanıtlarının Yüzdelik Dağılımları ve Ortalama Değerleri



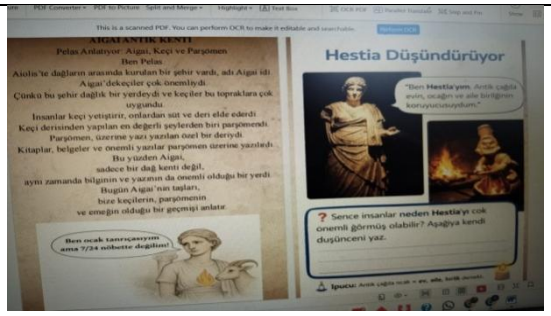
Fotoğraf 8: Müzede salon tanımı ve QR kodları(Solda öğrenci için soru kodları ve sağda salondaki eserlerin tanıtan metin için QR kodlar)



Fotoğraf 9: Aigai Salonunda eserlerin üzerine tıkladığında eser bilgileri görünüyor.



Fotoğraf 10: Müzede Soru QR Kodları Google Forma açılınca salonla ilgili 2 test 1 açık uçlu soru gelir.



Fotoğraf 11: Unutulan Aiolis'i Hatırla Adlı Müze Etkinlik Kitabından Örnek Sayfalar

2.1.4. Uygulamalı Etkinlik ile Çini Atölyesi Tutum ve Kazanım Ölçeği

14 Ekim 2025 tarihinde Aliağa bilsemde haftada 4 saat olarak seramik/çini atölyesi açılmıştır. 4 öğrencinin katıldığı derse proje uygulaması için Aliağa ve Gazi OO'dan 3'er öğrenci alınmış ve Aiolis temalı eserler karolara ve tabaklara çalıştırılmıştır. Bu eserler Aiolis Dijital Arkeoloji ve Çini Müzesi salonunda sergilenmiştir.



Fotoğraf 10: Müzede Çini Eserler

Tablo 19 incelendiğinde, çini atölyesi uygulamasına katılan öğrencilerin üç alt boyutta da **yüksek düzeyde olumlu tutum** sergiledikleri görülmektedir. Tarih ve kültürel miras algısı ile kişisel ve sosyal gelişim boyutlarında olumlu yanıt oranının %86 olması, atölyenin hem bilişsel hem de duyuşsal öğrenme alanlarında etkili olduğunu göstermektedir. Gelecek yönelimi boyutunda olumlu yanıt oranının %85 düzeyinde olması ise uygulamanın öğrencilerde uzun vadeli bir ilgi ve motivasyon oluşturduğunu düşündürmektedir.

Kararsız ve olumsuz yanıt oranlarının tüm alt boyutlarda düşük düzeyde kalması, öğrencilerin büyük çoğunluğunun atölye deneyimini anlamlı ve faydalı bulduğunu ortaya koymaktadır. Özellikle sanat yoluyla kültürel mirasla ilişki kurma, üretim sürecine aktif katılım ve eserlerin sergilenmesi gibi unsurların öğrencilerin aidiyet, özgüven ve motivasyon duygularını desteklediği anlaşılmaktadır.

Alt Boyut	Olumlu (4–5)	Kararsız (3)	Olumsuz (1–2)
Tarih ve Kültürel Miras Algısı	%86	%10	%4
Kişisel ve Sosyal Gelişim	%86	%10	%4
Gelecek Yönelimi	%85	%10	%5

Tablo 10: Çini Atölyesi Uygulamasına İlişkin Tutumların Alt Boyutlara Göre Dağılımı (% Olarak

Genel olarak bulgular, çini atölyesi uygulamasının yalnızca sanatsal bir etkinlik olmanın ötesinde, kültürel miras farkındalığını güçlendiren, kişisel ve sosyal gelişimi destekleyen ve öğrencilerde kalıcı öğrenme isteği oluşturan bütüncül bir öğrenme ortamı sunduğunu göstermektedir. Bu yönüyle atölye çalışması, Aiolis temalı dijital müze uygulamasını tamamlayan ve derinleştiren önemli bir uygulamalı öğrenme bileşeni olarak değerlendirilebilir.(Asıl veriler eklerdedir)

3.Uzman Görüşü: Manisa Celal Bayar Üniversitesi Arkeoloji bölümünde Araş. Gör. Baykal Başdemir'den uzman görüşü alınmıştır. Kendisine 5 soru yöneltilmiştir. Bu sorulara verdiği cevaplar Ekler 19'da sunulmuştur. Uzman görüşlerinden elde edilen nitel bulgular incelendiğinde, Aiolis Bölgesi'nin coğrafi sınırlarının Antik Dönem boyunca kesin çizgilerle belirlenmemişti. Başdemir'in değerlendirmelerine göre Aiolis, tarihsel ve kültürel açıdan önemli bir bölge olmasına rağmen, Antik Dönem yazılı kaynaklarında İonia gibi komşu bölgelere kıyasla daha sınırlı temsil edilmiştir. Aiollerin mütevazı yaşam tarzı ve kentlerinin anıtsal açıdan daha sade olması, bölgenin günümüzde görece daha az tanınmasında etkili olmuştur. Ayrıca Aiolis kentlerine ait arkeolojik eserlerin farklı müze ve koleksiyonlara dağılmış olması, bölgenin bütüncül bir algı ile değerlendirilmesini zorlaştırmaktadır. Baykal Başdemir, dijital müze uygulamalarının bu dağınıklığı aşmada işlevsel bir araç sunduğunu ve Aiolis'e ait kültürel mirasın bir arada algılanmasına katkı sağladığını ifade etmektedir. Uzman görüşleri doğrultusunda, Aiolis gibi az bilinen bölgelerin yerel tarih öğretiminde ele alınmasının, öğrencilerin yaşadıkları coğrafya ile tarihsel bağ kurmalarını desteklediği tespit edilmiştir.

Sonuç ve Tartışma

Bu projede oluşturulan dijital müze, Aiolis bölgesine ait antik kentleri yalnızca tanıtan bir sergi alanı değil; tarihsel bilgiyi yapılandırılmış biçimde sunan, öğrenci merkezli ve etkileşimli bir öğrenme ortamı olarak tasarlanmıştır. Müze kurgusu, kentlerin coğrafi konumu, tarihsel işlevleri, üretim faaliyetleri ve kültürel özellikleri arasındaki ilişkileri görünür kılacak şekilde planlanmıştır. Bu sayede öğrencilerin yerel tarihi parçalı, kopuk ve ezbere dayalı bilgiler yerine bütüncül bir bakış açısıyla kavramaları hedeflenmiştir. Dijital müze, öğrencilerin yaşadıkları çevre ile tarihsel geçmiş arasında anlamlı bağlar kurabilmelerine imkân tanıyan bir öğrenme zemini sunmuştur.

Araştırma öncesinde gerçekleştirilen ihtiyaç analizi, öğrencilerin önemli bir bölümünün yaşadıkları çevrede fiziksel müze etkinliklerine erişimde güçlük yaşadığını ve bulundukları bölgedeki antik kentleri yeterince tanımadığını ortaya koymuştur. Uzman görüşü de bu bulguları destekler nitelikte olup, Aiolis bölgesinin tarihsel ve kültürel açıdan önemli olmasına rağmen yeterince görünür olmadığı, bunun bölgede bütüncül bir müzenin bulunmamasıyla ilişkili olduğu ifade edilmiştir. Uzman, dijital müze uygulamalarının bu eksikliği gidermede etkili bir araç olabileceğini belirtmişlerdir. Bu kapsamda geliştirilen dijital müze uygulaması, öğrencilerin kültürel mirasa erişimini kolaylaştırarak bu boşluğu önemli ölçüde gidermiştir.

Dijital müze destekli öğretimin etkisini ortaya koymak amacıyla yürütülen deneysel çalışmada deney ve kontrol grupları karşılaştırılmıştır. Araştırma bulguları, deney grubu öğrencilerinin kültürel mirasa yönelik tutumlarında kontrol grubuna kıyasla belirgin ve anlamlı bir gelişme olduğunu göstermektedir. Deney grubunda antik kentlere ilgi duyma, Aiolis uygarlığını tanıma, tarihi eserlerle bağ kurma ve kültürel mirasın korunmasına yönelik farkındalık düzeylerinde anlamlı artışlar gözlenmiştir. Buna karşılık, geleneksel öğretim yöntemleriyle ders işleyen kontrol grubunda bu alanlarda benzer bir gelişim görülmemiştir. Bu durum, dijital müze temelli öğrenme yaklaşımının öğrencilerin yalnızca bilişsel düzeylerini değil, tutum ve farkındalık düzeylerini de geliştirdiğini ortaya koymaktadır. Elde edilen bulgular, dijital müze temelli

öğrenmenin, müze erişimi sınırlı olan yerleşimlerde kültürel miras eğitiminin etkililiğini artıran güçlü bir pedagojik yaklaşım olduğunu göstermektedir.

QR kodlu içerikler, sesli anlatımlar ve yönlendirici sorular aracılığıyla dijital müze, pasif bir izleme ortamı olmaktan çıkarılarak öğrencilerin aktif katılım gösterdiği etkileşimli bir öğrenme alanına dönüştürülmüştür. Sanal geziler ile görsel–işitsel materyaller, rehberli gezi öğrencilerin Aiolis uygarlığına ilişkin soyut tarihsel bilgileri somut örneklerle ilişkilendirmelerine imkân tanımış; bu süreçte öğrencilerin tarih dersine yönelik ilgi ve motivasyonlarının arttığı gözlemlenmiştir.

Aiolis uygarlığının proje kapsamında ele alınması, öğrencilerin yaşadıkları coğrafyanın tarihsel derinliğini fark etmeleri açısından önemli bir kazanım sağlamıştır. Öğrencilerin "*Aliağa'da müze olmalı*" ifadesine yüksek düzeyde katılım göstermeleri, yerel tarih bilincinin ve kültürel sahiplenme duygusunun geliştiğini ortaya koymaktadır. Proje kapsamında yürütülen çini atölyesi çalışması ise dijital müze deneyimini tamamlayıcı bir unsur olarak öğrencilerin sanatsal, sosyal ve duyuşsal gelişimlerine katkı sağlamış; kültürel mirasla kurdukları bağı güçlendirmiştir.

Sonuç olarak, "*Unutulan Aiolis'i Hatırlamak: Müzesi Olmayan Kentin Dijital Müzesi*" projesi, dijital müze ve atölye çalışmalarını bütüncül bir öğrenme modeli içinde ele alarak öğrencilerin kültürel mirasa yönelik tutumlarını güçlendirmiş ve yerel tarih bilgilerini derinleştirmiştir. Bu yönüyle çalışma, müzesi olmayan yerleşimler için dijital müzenin eğitim ortamı olarak kullanılabilirliğini ortaya koyan, kültürel miras eğitimi alanına uygulanabilir ve örnek alınabilecek bir model sunmaktadır.

Öneriler

Dijital müze temelli eğitimin etkili biçimde yaygınlaştırılabilmesi için birtakım genel öneriler geliştirilmiştir. Öncelikle, dijital müze uygulamalarının tarih, sosyal bilgiler ve görsel sanatlar gibi ders içerikleriyle bütünleştirilmesi önem taşımaktadır. Bu uygulamaların sadece tek seferlik değil, derslerin doğal akışı içinde kullanılabilir olması, öğrenmeyi kalıcı hâle getirecektir. Sanal müze gezilerinin öğrenciler açısından daha anlamlı hâle gelmesi için, geziler proje sunumları, hikâyeleştirme etkinlikleri ya da rehberli görevler gibi uygulamalı çalışmalarla desteklenmelidir.

Öğrencilerin kültürel miras farkındalıklarını artırmak amacıyla, dijital müze deneyimlerinin uygulamalı sanat etkinlikleriyle (çini, seramik, görsel tasarım vb.) desteklenmesi önerilmektedir. Bu tür üretim temelli etkinlikler, öğrencilerin kültürel mirası yalnızca tanımalarını değil, aynı zamanda üretim yoluyla içselleştirmelerini sağlamaktadır.

Sanal müzelerin sınıf içi derslerde aktif öğrenme aracı olarak kullanılabilmesi için öğretmenler tarafından yapılandırılmış etkinlikler planlanmalı, öğrencilerden müze gezilerini belgelemeleri ve sunmaları beklenmelidir. Bu süreçte okul ile müze ve kültür kurumları arasında düzenli iş birliklerinin kurulması ve müze haftası gibi kültürel etkinliklerle dijital içeriklerin buluşturulması önerilmektedir. Bununla birlikte, dijital müze deneyiminin etkili olabilmesi için gerekli teknolojik altyapının sağlanması da büyük önem arz etmektedir. İnternet erişimi güçlü sınıflar, 3 boyutlu içeriklerin görüntülenebileceği teknolojik donanımlar, artırılmış gerçeklik ve VR gözlükleri gibi araçlar eğitime entegre edilmelidir. Aynı zamanda, öğretmenlerin bu içerikleri etkili biçimde kullanabilmeleri için dijital müze uygulamaları ve kültürel miras eğitimi konularında hizmet içi eğitim almaları da önerilmektedir.

Dijital içeriklerin etkileşimli, görseller, sesli anlatımlar ve oyunlaştırılmış yapılarla zenginleştirilmesi, öğrencilerin ilgisini artıracak ve öğrenmeye yönelik motivasyonu güçlendirecektir. Bu içeriklerin geliştirilmesi sürecinde tarih eğitimi, bilişim teknolojileri, grafik tasarım ve ölçme-değerlendirme gibi farklı alanlardan uzmanların bir araya gelmesi, disiplinlerarası bir yaklaşımın benimsenmesini sağlayacaktır. Ayrıca, dijital müze uygulamaları

herkes için erişilebilir olmalıdır. Görme ve işitme engelli bireyler için altyazı, sesli betimleme gibi destekleyici unsurlar geliştirilerek içeriklerin kapsayıcı olması sağlanmalıdır. Dijital içeriklerin öğrenciler tarafından daha bilinçli şekilde kullanılması için fotoğraf alma, not tutma ve keşif görevi gibi dikkat odaklı etkinlikler teşvik edilmeli; dikkat dağıtıcı unsurlar sınırlanmalıdır.

Öğrenmenin pekiştirilmesi adına, sanal müze gezileri sonrasında quiz, portfolyo sunumu, akran değerlendirmesi, yaratıcı yazma gibi etkinlikler yapılabilir. Son olarak, dijital müze deneyiminin yalnızca izleme değil, üretme boyutuna taşınması adına, çini atölyesi gibi dijital sanatla bütünleşik uygulamalar da sürece dâhil edilmelidir. Böylelikle öğrencilerin hem kültürel mirasa hem de sanatsal üretime dayalı çok yönlü kazanımlar elde etmeleri mümkün olacaktır.

Kaynaklar

Aktın, K. (2024). Müzelerde eğitim ve müzelerde tarih öğretimi**.** H. Şahin & B. B. Alkan (Ed.), *Eğitim bilimlerinde modern araştırma ve incelemeler* (ss. 265–287) içinde. Lyon: Eğitim Yayınevi.

Ata, B. (2002). *Müzelerle ve tarihî mekânlarla tarih öğretimi: Tarih öğretmenlerinin "müze eğitimine" ilişkin görüşleri* (Yayımlanmamış doktora tezi). Gazi Üniversitesi, Ankara.

Boyer, C. L. (1996). *Using museum resources in the K–12 social studies curriculum*. ERIC. https://eric.ed.gov/?id=ED412174

Egüz, Ş. (2020). Sosyal bilgiler dersinde müze eğitimine dayalı öğretim uygulamalarının öğrenciler üzerindeki etkisi. *Millî Eğitim Dergisi*, 49(227), 245–270.

Falk, J. H., & Dierking, L. D. (2016). *The museum experience*. New York: Routledge.

Hooper-Greenhill, E. (2007). *Museums and education: Purpose, pedagogy, performance*. Routledge.

İren, K. (2012). Aiolis. R. S. Bagnall et al. (Ed.), *The Encyclopedia of Ancient History* içinde. Wiley-Blackwell.
https://doi.org/10.1002/9781444338386.wbeah14011

Karaca, S. (2017). *Aliağa'nın antik kentleri* (2. bs.). Aliağa Belediyesi Yayınları.

Kepir, S. S., & Kiriş Avaroğulları, A. (2022, 10–11 Aralık). Ortaokul sosyal bilgiler dersi için sanal müze etkinlikleri geliştirilmesi, uygulanması ve değerlendirilmesi. *5th International Congress on Human Studies (ICHUS-2022)*, Ankara, 551–557.

Leinhardt, G., Crowley, K., & Knutson, K. (2002). *Learning conversations in museums*. London: Lawrence Erlbaum Publishers.

Meydan, A., & Akkuş, A. (2014). Sosyal bilgiler öğretiminde müze gezilerinin tarihî ve kültürel değerlerin kazandırılmasındaki önemi. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 29, 402–422. https://doi.org/10.14781/MCD.2014298137

Önder, A., Abacı, O., & Kamaraj, I. (2009). "Müzelerin eğitim amaçlı kullanımı projesi": İstanbul Arkeoloji Müzesi Marmara örneklemi. *Pamukkale Üniversitesi Eğitim Fakültesi Dergisi*, 25, 103–107.

Özmen, S. (2018). Müze eğitiminin gelişimi. *Humanitas – Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi*, 6(11), 301–324.

Sevin, V. (2001). *Anadolu'nun tarihî coğrafyası*. Ankara: Türk Tarih Kurumu.

Shaw, W. M. K. (2004). *Osmanlı müzeciliği, müzeler, arkeoloji ve tarihin görselleştirilmesi* (E. Soğancılar, Çev.). İstanbul: İletişim Yayınları.

Taşpınar, P. (2020). Kyme Antik Kenti. M. Çekilmez (Ed.), *Aliağa ve çevresindeki antik kentler* içinde. Aliağa Belediyesi Yayınları.

Tunç, E. B., & Gökmen, A. (2024). Küresel iklim değişikliği temalı sanal müze: BİLSEM öğrencileri ve öğretmenlerinin deneyimleri. *International Academic Social Resources Journal*, 9(6), 602–611. https://doi.org/10.5281/zenodo.14559696

Utkugün, C., & Yıldırım, R. (2024). Exploring cultural heritage through virtual museums: Social studies teacher candidates' views and experiences with virtual museums. *Türk Akademik Yayınlar Dergisi (TAY Journal)*, 8(3), 440–476.

3B YAZDIRILMIŞ POLİ(LAKTİK) ASİT (PLA) MALZEMENİN ZAMANA BAĞIMLI MEKANİK DAVRANIŞLARI: ÇEKME HIZI VE GERİNİME BAĞIMLI SÜNME VE GEVŞEME YANIT ANALİZİ

Prof. Dr. Necmi DÜŞÜNCELİ
Aksaray University, Faculty of Engineering Department of Mechanical Engineering, 68100 Aksaray, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-2841-7882

ÖZET
Poli(laktik) asit (PLA), yenilenebilir kaynaklardan sentezlenebilen, çevre dostu ve biyobozunur bir biyoplastik olup; biyomedikal, otomotiv, elektronik ve üç boyutlu (3B) yazıcı konstrüksiyonlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. PLA'nın yüksek şeffaflık, kırılma indeksi ve Abbe sayısı gibi optik üstünlüklerinin yanı sıra mekanik güvenilirliğinin belirlenmesi endüstriyel uygulamalar açısından kritik önem taşımaktadır. Bu çalışmada, ASTM D-638 standardına uygun olarak 3B yazıcı ile üretilen 10,1 mm × 4,2 mm kesit alanına sahip dambıl PLA numunelerinin zamana bağlı mekanik yanıtları deneysel olarak incelenmiştir. Testler, 5 kN yük hücresi ve elektro-mekanik sensörle donatılmış Shimadzu evrensel test makinesinde oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir. Farklı çekme hızlarında (1, 5 ve 50 mm/dak) yapılan çevrimsel monotonik yükleme-boşaltma ve gevşeme testlerinde, PLA'nın gerilme-gerinim yanıtının güçlü bir şekilde doğrusal olmadığı ve hız bağımlılığı sergilediği saptanmıştır. Ancak, 1 MPa gerilme seviyesindeki gevşeme davranışının çekme hızından bağımsız olduğu gözlemlenmiştir. Gelişmiş katlamalı sünme ve gevşeme testlerinde (1,5% gerinim, 14 MPa ve 1 MPa gerilme seviyelerinde), birim uzama geri dönüş miktarına ($\Delta\varepsilon$) bağlı olarak alışılmadık mekanik tepkiler tespit edilmiştir. Düşük gerilme seviyelerinde (1 MPa) ters sünme ve ters gevşeme olguları gözlemlenirken, ara gerilme değerlerinde gerilmenin önce artıp ardından kararlı asimptotik bir değere ulaştığı karmaşık/karışık mekanik davranışlar ortaya koyulmuştur. Bununla birlikte, 3B yazdırılmış PLA'nın gerilme-gerinim tepkisinin yükleme geçmişinden etkilenmediği belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar, PLA'nın karmaşık viskoelastik-viskoplastik deformasyon mekanizmalarının ve yapılardaki uzun süreli yük taşıma kapasitesinin doğru modellenmesi için temel oluşturmaktadır.
Anahtar kelimeler: Poli(laktik) asit (PLA), 3B Yazıcı, Viskoelastisite, Sünme ve Gevşeme, Ters Gevşeme, Mekanik Testler.

TIME-DEPENDENT MECHANICAL BEHAVIOR OF 3D-PRINTED POLY(LACTIC) ACID (PLA): ANALYSIS OF RATE-DEPENDENT AND STRAIN-DEPENDENT CREEP AND RELAXATION RESPONSES

ABSTRACT
Poly-lactic acid (PLA) is an eco-friendly and biodegradable bioplastic synthesized from renewable resources, extensively utilized in biomedical applications, automotive components, electronics, and 3D-printed structural elements. Alongside its outstanding optical properties, such as high transparency, high refractive index, and high Abbe number, characterizing the mechanical reliability of PLA is vital for engineering designs. In this study, the time-dependent mechanical response of 3D-printed dumbbell-shaped PLA specimens with a cross-sectional area of 10.1 mm x 4.2 mm (prepared in according with ASTM D-638) is experimentally investigated. Tests are conducted at room temperature using a Shimadzu universal testing machine equipped with a 5 kN load cell and an electro-mechanical sensor for strain tracking.

Cyclic monotonic loading-unloading and relaxation experiments at strain rates of 1, 5, and 50 mm/min revealed that PLA exhibits strongly non-linear stress-strain behaviour with pronounced strain-rate sensitivity. However, relaxation behaviour at a 1 MPa stress state is found to be independent of the loading strain rate. Advanced multi-step creep and relaxation tests (conducted at 1.5% strain, 14 MPa, and 1 MPa stress levels) demonstrated unusual mechanical phenomena governed by the magnitude of strain recovery ($\Delta\varepsilon$). At low stress levels (1 MPa), inverse creep and reverse relaxation are observed, whereas intermediate stress levels exhibited mixed behaviour where stress initially increased before decaying to a steady asymptotic value. Furthermore, the stress-strain response of PLA proved to be insensitive to loading history. These findings provide crucial foundational data for constitutive modelling of complex viscoelastic-viscoplastic deformation mechanisms and structural durability in PLA.

Keywords: Poly(lactic) acid (PLA), 3D Printing, Viscoelasticity, Creep and Relaxation, Unusual Relaxation, Mechanical Testing.

1. INTRODUCTION

Poly-lactic acid (PLA) is a bio-based, bio-compatible, non-toxic, and environmentally friendly bioplastic synthesized from renewable resources such as corn starch and sugarcane (Auras et al. 2004; Ahn et al. 2019). In recent years, PLA has gained immense popularity across a broad spectrum of engineering and industrial domains, including biomedical devices, tissue engineering scaffolds, automotive interior components, microelectronics, and additive manufacturing structures (Garlotta 2001; Drumright et al. 2000; Li et. al. 2020). Beyond its environmental advantages, PLA possesses exceptional optical properties, including high transparency up to the UV range, a relatively high refractive index, and a low dispersion index (high Abbe number), making it highly attractive for lighting and optical applications. (Kaur and Gupta 2021)

With the rapid advancement of fused deposition modelling (FDM) 3D printing technology, 3D-printed PLA parts are increasingly employed as load-bearing structural elements rather than mere rapid prototypes (Singh and Sharma 2018). However, polymers subjected to mechanical loading exhibit complex time-dependent phenomena, such as viscoelasticity, viscoplasticity, strain-rate sensitivity, creep, and stress relaxation (Khan and Zhang 2001; Zhang et. al. 2021). To ensure structural integrity and long-term durability under operational conditions, understanding the non-linear, time-dependent mechanical behaviour of 3D-printed PLA is paramount (Azimi et. al. 2016).

While conventional uniaxial tensile behaviour of PLA has been reported in literature, atypical time-dependent behaviours such as reverse relaxation (stress recovery during relaxation) and reverse creep remain insufficiently explored for additive-manufactured PLA geometries. Therefore, the primary objective of this study is to systematically investigate the rate-dependent cyclic loading-unloading behavior, multi-step creep/relaxation phenomena, and loading history dependence of 3D-printed PLA dumbbell specimens.

Table 1. Experimental test conditions and protocol summary for 3D-printed PLA specimens

Test Series	Loading Condition	Strain Rate / Stress Levels	Observed Mechanical Behaviour
Series 1: Rate Dependence	Cyclic Monotonic Loading-Unloading & Relaxation	Crosshead speeds: 1, 5, 50 mm/min Rel. stress: σ_{min} = 1 MPa	Non-linear stress-strain response, rate sensitivity; rate-independent relaxation at 1 MPa
Series 2: Multi-step Relaxation	Uniaxial Strain Control (ε_{max} = 1.5%)	σ_{min} = 14 MPa & 1 MPa Relaxation duration = 20 min	Mixed relaxation behavior (stress increase followed by decay) and reverse relaxation at 1 MPa
Series 3: Multi-step Creep	Uniaxial Stress Control (ASTM E-328)	σ_{min} = 14 MPa & 1 MPa Creep duration = 20 min	Mixed creep and reverse creep response governed by strain recovery magnitude ($\Delta\varepsilon$)

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Specimen Preparation and Geometries

Commercial standard Poly-lactic acid (PLA) filament is acquired for specimen manufacturing. Dumbbell-shaped tensile specimens are fabricated in accordance with ASTM D-638 standard dimensions using a commercial 3D printer. The cross-sectional dimensions of the gauge length are measured as 10.1 mm in width and 4.2 mm in thickness. Both flat (standard gauge) and notched specimen configurations are produced to evaluate deformation modes and notch sensitivity.

2.2 Mechanical Testing Setup and Experimental Protocols

Uniaxial mechanical characterization is conducted at room temperature (T = 23 °C) utilizing a Shimadzu universal testing machine equipped with a 5 kN load cell. Longitudinal axial strains are precisely monitored and recorded using an electro-mechanical sensor. Engineering stress (σ) is determined as the ratio of axial tensile force to the initial undeformed cross-sectional area (10.1 mm × 4.2 mm). All test routines are repeated at least twice on fresh specimens to guarantee repeatability.

Three distinct experimental protocols are executed:

1) Rate-Dependent Cyclic Monotonic Tests: Specimens are loaded until failure at crosshead speeds of 1, 5, and 50 mm/min. Subsequent relaxation tests are performed at a constant stress level of σ_{min} = 1 MPa for 20 minutes to prevent specimen buckling.

2) Multi-step Relaxation Tests: Specimens are loaded to a maximum axial strain of ε_{max} = 1.5% and unloaded to various minimum stress levels (σ_{min} = 14 MPa and 1 MPa). Relaxation behavior (stress tracking over time) is recorded for t_{relax} = 20 min in accordance with ASTM E-328.

3) Multi-step Creep Tests: Specimens are loaded to ε_{max} = 1.5% and unloaded to predetermined stress levels (σ_{min} = 14 MPa and 1 MPa). Strain evolution over time ($\varepsilon(t)$) is recorded for t_{creep} = 20 min. Final relaxation steps at 1 MPa are subsequently appended.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The experimental stress-strain responses obtained from monotonic tensile tests at crosshead speeds of 1, 5, and 50 mm/min clearly demonstrate that 3D-printed PLA exhibits significant non-linear behaviour and pronounced strain-rate sensitivity.

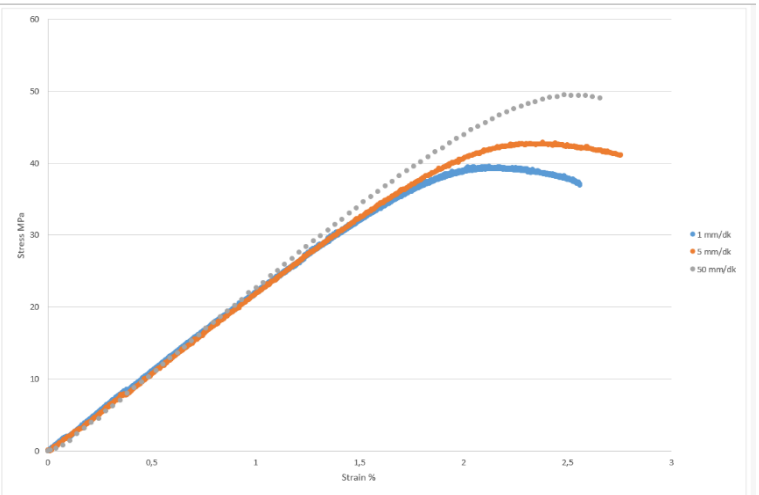


Figure 1 Strain rate dependence of 3D-printed PLA: Stress-strain curves from tensile tests at speeds of 50 mm/min, 5 mm/min, and 1 mm/min.

Higher loading rates lead to higher initial elastic moduli and elevated peak yield stresses. However, relaxation tests performed immediately after loading-unloading cycles at a minimum stress level of 1 MPa revealed that the long-term relaxation response is virtually independent of the initial loading strain rate.

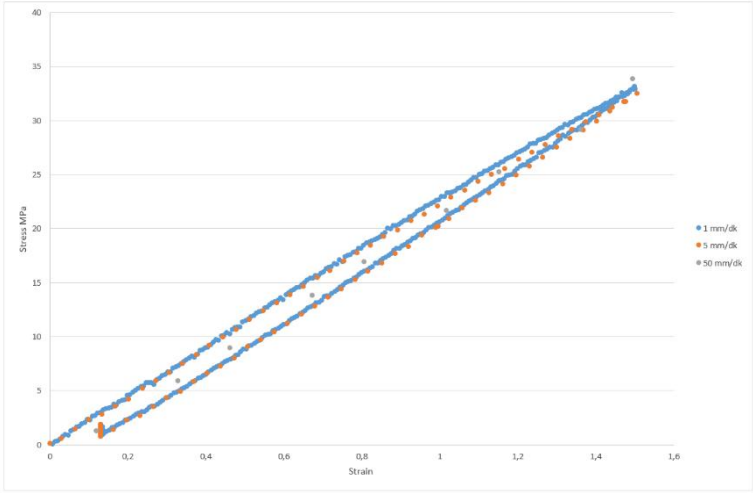


Figure 2 Strain rate dependence of 3D-printed PLA: Stress-strain curves and relaxation tests (held for 20 minutes at a 1 MPa stress level following loading/unloading) at tensile speeds of 50 mm/min, 5 mm/min, and 1 mm/min.

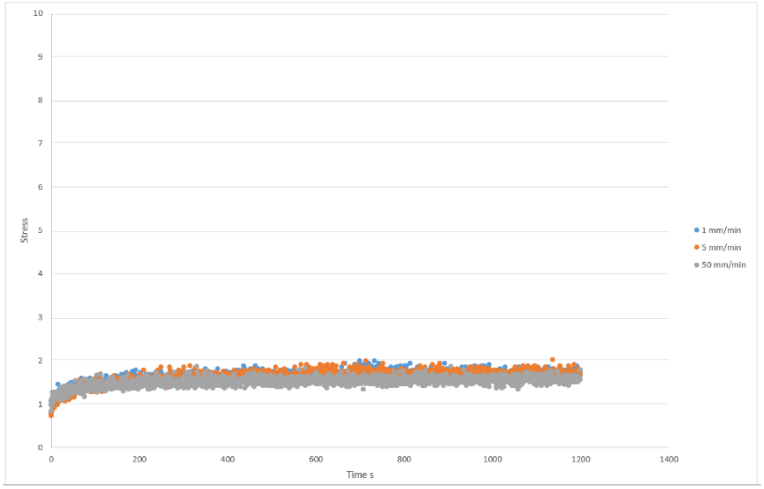


Figure 3 3D-Printed PLA Relaxation: Stress-time curves from relaxation tests lasting 20 minutes, initiated at 1 MPa following a loading-unloading cycle at a tensile speed of 1 mm/min.

The multi-step relaxation and creep results highlight atypical viscoelastic-viscoplastic behavior governed by the magnitude of strain recovery, defined as $\Delta\varepsilon = \varepsilon_{max} - \varepsilon$. Specifically, the following key findings are established:

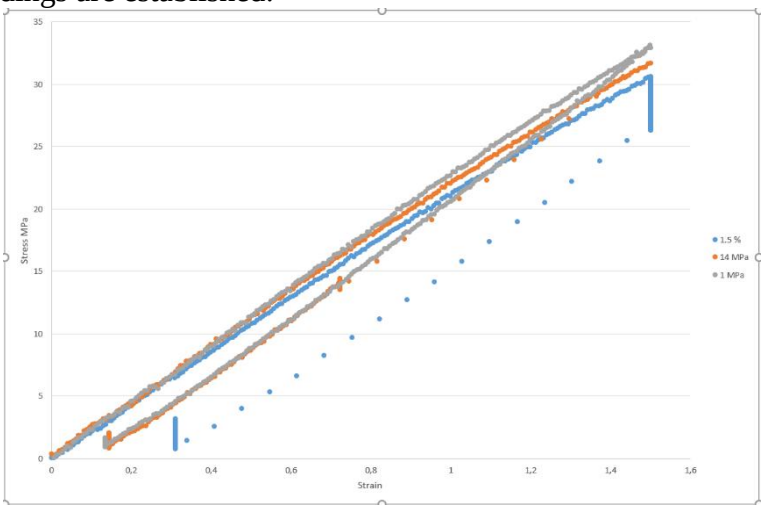


Figure 4. Stress-strain curves for 3D-printed PLA cyclic relaxation tests: loading-unloading curves with relaxation periods of 20 minutes initiated at 1.5% strain/1 MPa stress, 14 MPa/1 MPa, and 1 MPa, respectively, at a tensile speed of 1 mm/min.

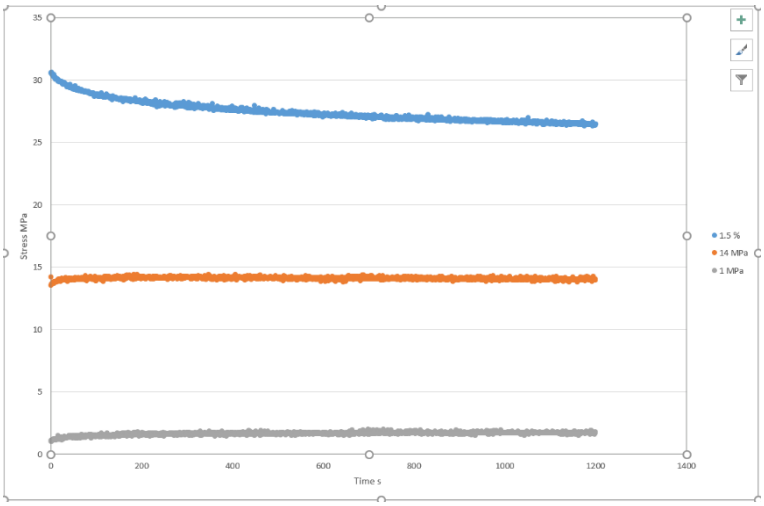


Figure 5 3D-printed PLA cyclic relaxation: Stress-time curves from relaxation tests conducted for 20 minutes, starting at 1.5%, 14 MPa, and 1 MPa, respectively, along the loading-unloading curve at a tensile speed of 1 mm/min.

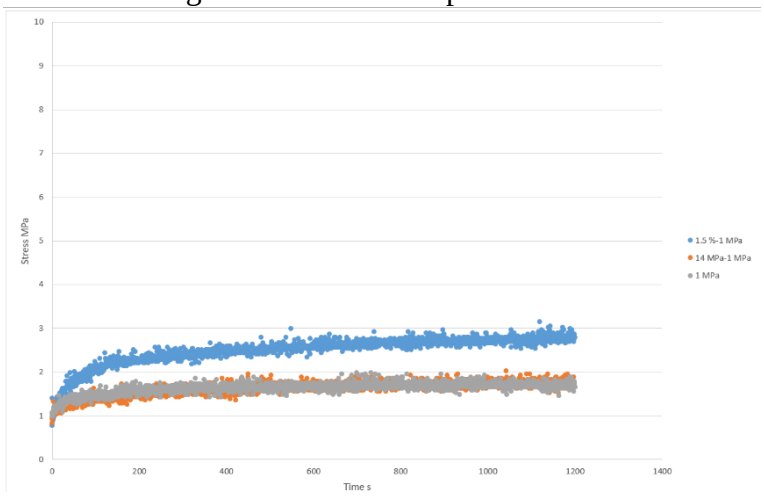


Figure 6 3D-Printed PLA Stress Relaxation: Stress-vs.-time curves from relaxation tests conducted for 20 minutes at a stress level of 1 MPa, following relaxation periods initiated at strain and stress levels of 1.5% and 14 MPa, respectively, on the loading-unloading curve (at a tensile speed of 1 mm/min).

Non-linear Stress-Strain Response: The stress-strain loading and unloading paths are weakly non-linear, with substantial hysteresis loops.

Mixed and Reverse Relaxation: When unloaded to an intermediate stress level of σ_{min} = 14 MPa after loading to ε_{max} = 1.5%, the stress initially increases before gradually decaying toward a stable asymptotic value (mixed relaxation). Conversely, when unloaded to low stress levels (σ_{min} = 1 MPa), stress increases monotonically with time, demonstrating reverse relaxation.

Mixed and Reverse Creep: Under creep testing at 14 MPa, mixed creep deformation is observed. However, at 1 MPa stress levels, strain recovery and reverse creep dominate due to internal elastic restoration exceeding the applied stress.

Loading History Independence: Comparison between multi-stage creep/relaxation steps confirms that the stress-strain state and long-term asymptotic behavior of 3D-printed PLA are independent of prior loading history.

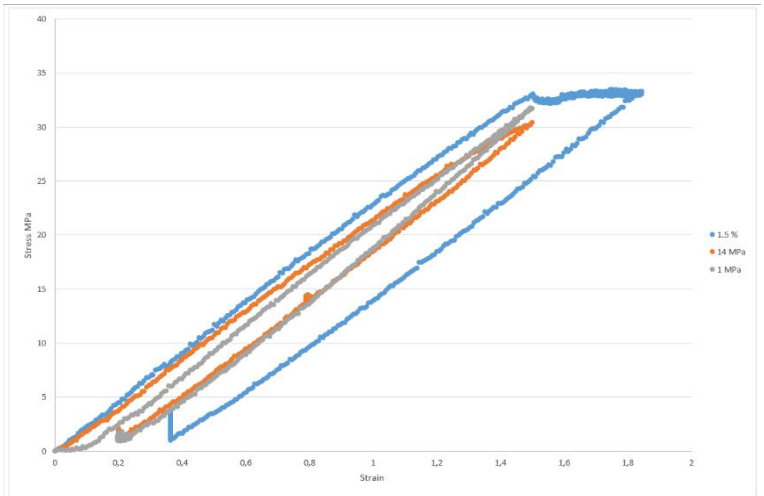


Figure 7 3D-printed PLA cyclic creep: Stress-strain curves showing loading-unloading at a tensile speed of 1 mm/min, followed by creep tests at 1.5%, 14 MPa, and 1 MPa, and subsequent relaxation tests at the 1 MPa level for 20 minutes.

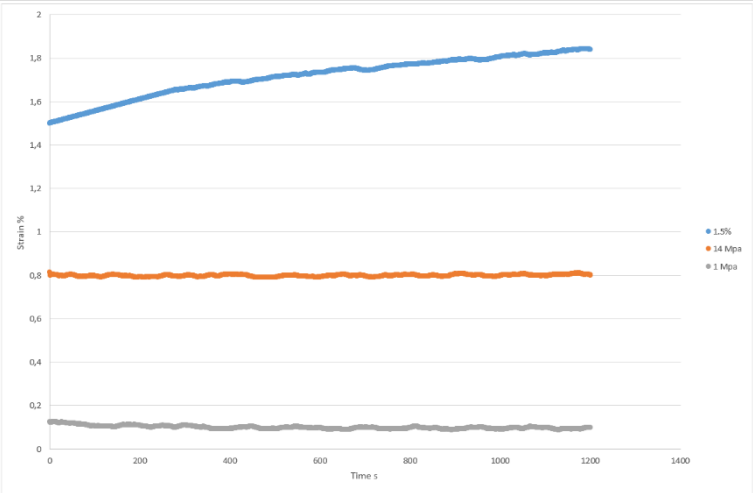


Figure 8 Creep of 3D-printed PLA: Strain-time curves from creep tests conducted for 20 minutes, with starting points of 1.5%, 14 MPa, and 1 MPa respectively on the loading-unloading curve (at a tensile speed of 1 mm/min).

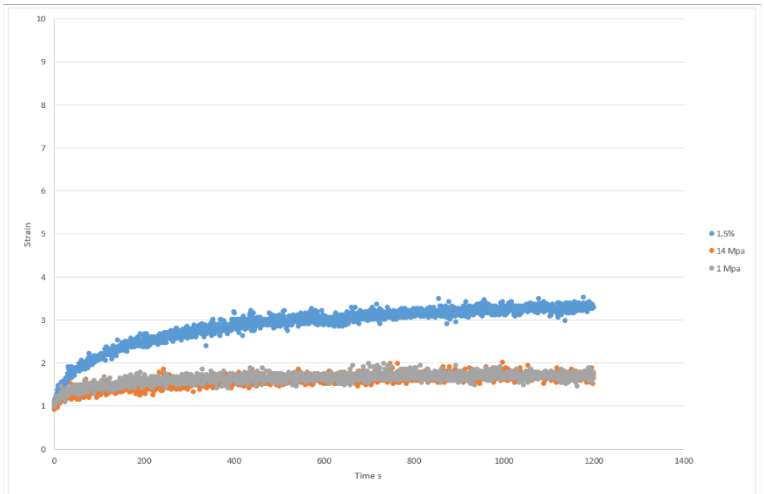


Figure 14 3D-Printed PLA Stress Relaxation: Stress-time curves showing relaxation tests conducted for 20 minutes at a stress level of 1 MPa, following creep tests at strain and stress levels of 1.5% and 14 MPa, respectively, along the loading-unloading curve at a tensile speed of 1 mm/min.

Table 2. Summary of mechanical behavior and deformation modes observed for 3D-printed PLA

Stress / Strain Level	Deformation Regime / Mechanism	Observed Response Characteristics
ε_{max} = 1.5%, σ_{min} = 14 MPa	Viscoelastic-Viscoplastic Transition Zone	Mixed relaxation (initial stress rise followed by decay); mixed creep strain evolution
ε_{max} = 1.5%, σ_{min} = 1 MPa	Elastic Recovery Dominant Zone	Reverse relaxation (monotonic stress growth) and reverse creep strain recovery
Rate variations (1-50 mm/min)	Rate-Dependent Yielding	Rate-sensitive loading slope; rate-independent relaxation equilibrium at 1 MPa

4. Conclusions

In this study, the time-dependent mechanical characterization of 3D-printed Poly-lactic acid (PLA) is systematically conducted under various loading rates, multi-step relaxation, and creep conditions. The primary conclusions are summarized as follows:

1. 3D-printed PLA exhibits strong strain-rate dependency during monotonic loading, whereas its relaxation behaviour at low stress levels (1 MPa) is independent of rate history.
2. The material displays complex, non-monotonic relaxation and creep responses. Reverse relaxation and reverse creep occur at low stress states (1 MPa), driven by internal microstructural elasticity.
3. At intermediate stress levels (14 MPa), a mixed relaxation response occurs, characterized by a temporary stress increase before asymptotic relaxation.
4. PLA's mechanical response is path-independent regarding prior loading histories, providing key insights for constitutive viscoelastic-viscoplastic modelling.

Acknowledgement
This work was supported by Aksaray University Scientific Research Projects Coordination Unit (ASU BAP) under Grant No: 2025-032

REFERENCES

Auras R, Harte B, Selke S. (2004). An overview of polylactides as packaging materials. Macromolecular Bioscience 4(9), 835-864.
Drumright RE, Gruber PR, Henton DE. (2000). Polylactic acid technology. Advanced Materials 12(24), 1841-1846.
Garlotta D. (2001). A literature review of poly(lactic acid). Journal of Polymers and the Environment 9(2), 63-84.
Khan ZA, Zhang C. (2001). Viscoelastic-viscoplastic characterization of polymeric materials under cyclic loading. International Journal of Solids and Structures 38(50), 9035-9050.
Ahn, S. H., Lee, H. S., & Lee, Y. S. (2019). Influence of print speed on the mechanical properties of PLA filaments in 3D printing. Materials Science and Engineering: A, 745, 1-8.
Li, H., Li, Z., & Zhang, X. (2020). Effects of extrusion temperature and speed on the relaxation behavior of PLA materials in 3D printing. Polymer Testing, 82, 106276.
Kaur, K., & Gupta, S. (2021). Study on the thermal behavior and dimensional accuracy of 3D printed PLA. Journal of Thermoplastic Composite Materials, 34(3), 254-269.
Singh, R., & Sharma, S. (2018). Analysis of geometric defects and their impact on the mechanical properties of 3D printed PLA parts. Materials and Design, 146, 253-261.
Zhang, Y., Chen, M., & Sun, Y. (2021). Optimization of printing parameters for improved mechanical performance of PLA 3D printed parts. Journal of Manufacturing Processes, 63, 417-429.
Azimi, P., Zhao, D., Pouzet, C., Crain, N. E., & Stephens, B. (2016). Emissions of ultrafine particles and volatile organic compounds from commercially available desktop three-dimensional printers with multiple filaments. Environmental Science & Technology, 50(3), 1260-1268.

KARŞILAŞTIRMALI ANALİZLERLE TÜRKÇE GRAMER İNDÜKSİYONU PROBLEMİNE BİR ÇÖZÜM GELİŞTİRİLMESİ

Arş. Gör. Oben ADAK
Mersin University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, 33343 Ciftlikkoy, Mersin
ORCID ID: 0009-0000-1289-437X
Doç. Dr. Mehmet ACI
Mersin University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, 33343 Ciftlikkoy, Mersin
ORCID ID: 0000-0002-7245-8673

ÖZET
Bu çalışmada, serbest söz dizimine ve sondan eklemeli morfolojik yapıya sahip Türkçe için denetimsiz Gramer İndüksiyonu (Gİ) problemine yönelik Genetik Algoritma (GA) tabanlı bir yaklaşım sunulmuştur. Gİ, örnek cümlelerden bir dilin biçimsel kurallarının otomatik olarak çıkarılması problemidir. Arama uzayının yönetilebilir hâle getirilmesi amacıyla Boğaziçi Üniversitesi Türkçe Bağımlılık Ağaçbankası (Universal Dependencies Turkish BOUN Treebank, UD_Turkish-BOUN) kullanılarak hibrit bir kural havuzu, hibrit başlangıç popülasyonu ve negatif örnekleme stratejileri oluşturulmuştur. Deneysel süreç; kural havuzunun oluşturulduğu eğitim, model ve GA operatörlerinin seçildiği doğrulama ve nihai performansın değerlendirildiği test olmak üzere üç ayrı veri kümesi üzerinde yürütülmüştür. Hiperparametre karşılaştırmaları sonucunda turnuva seçilimi, çift noktalı çaprazlama ve %5 mutasyon oranından oluşan GA yapılandırması en yüksek doğrulama uygunluğunu sağlamıştır. Önerilen yöntem, Isıl İşlem (Simulated Annealing, SA), Rastgele Arama ve aramasız yapısal gramer olmak üzere üç temel çizgi ile çoklu bağımsız tekrarlar üzerinden karşılaştırılmış ve sonuçlar Mann–Whitney U testi ile değerlendirilmiştir. GA ile SA arasında uygunluk açısından istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmazken, GA Rastgele Arama yöntemine göre anlamlı derecede daha yüksek performans göstermiştir. Elde edilen gramer, eğitim, doğrulama ve test kümelerinde sırasıyla 0,681, 0,669 ve 0,652 F1 skorlarına ulaşmıştır. Eğitim ve test performanslarının birbirine yakın olması, yöntemin görülmemiş örneklere yönelik genelleme performansını koruduğunu göstermektedir. Hata analizinde ise modelin yüklemsiz cümlelerin %100'ünü ve söz dizimi bozulmuş cümlelerin %93,2'sini reddettiği gözlenmiştir. Bulgular, GA tabanlı yaklaşımın Türkçe için biçimsel gramer kurallarının otomatik olarak çıkarılmasında uygulanabilir ve etkili bir yöntem olduğunu göstermektedir.
Anahtar kelimeler: Genetik algoritma, gramer indüksiyonu, bağlamdan bağımsız gramer, Türkçe, doğal dil işleme, denetimsiz öğrenme, istatistiksel anlamlılık

DEVELOPING A SOLUTION TO THE TURKISH GRAMMAR INDUCTION PROBLEM THROUGH COMPARATIVE ANALYSES

ABSTRACT
This study presents a Genetic Algorithm (GA)-based approach to the unsupervised Grammar Induction (GI) problem for Turkish, which has free word order and an agglutinative morphological structure. GI is the problem of automatically extracting the formal rules of a language from example sentences. To make the search space manageable, a hybrid rule pool, a hybrid initial population, and negative sampling strategies were developed using the Universal Dependencies Turkish BOUN Treebank (UD_Turkish-BOUN). The experimental process was

conducted on three separate datasets: training, where the rule pool was constructed; validation, where the model and GA operators were selected; and test, where the final performance was evaluated. As a result of the hyperparameter comparisons, the GA configuration consisting of tournament selection, two-point crossover, and a 5% mutation rate achieved the highest validation fitness. The proposed method was compared with three baselines: Simulated Annealing (SA), Random Search, and a no-search structural grammar through multiple independent repetitions, and the results were evaluated using the Mann–Whitney U test. While no statistically significant difference in fitness was found between GA and SA, GA achieved significantly higher performance than Random Search. The induced grammar achieved F1 scores of 0.681, 0.669, and 0.652 on the training, validation, and test sets, respectively. The similarity between the training and test performance indicates that the method maintains its generalization performance on unseen examples. In the error analysis, the model was observed to reject 100% of verbless sentences and 93.2% of syntactically corrupted sentences. The findings indicate that the GA-based approach is an applicable and effective method for automatically inducing formal grammar rules for Turkish.
Keywords: Genetic algorithm, grammar induction, context-free grammar, Turkish, natural language processing, unsupervised learning, statistical significance

1. GİRİŞ

Genetik Algoritma (GA), Darwin'in doğal seçilim kuramından esinlenen, popülasyon tabanlı bir metasezgisel optimizasyon yöntemidir (Holland, 1992). Metasezgisel yaklaşımlar; bir problemin en iyi çözümünü garanti etmek yerine, geleneksel analitik yöntemlerin yetersiz kaldığı yüksek boyutlu, doğrusal olmayan ve karmaşık arama uzaylarında keşif (exploration) ile sömürü (exploitation) dengesini kurarak kabul edilebilir süreler içerisinde küresel en iyiye yakın çözümler üretebilen genel amaçlı arama stratejileridir (Benaissa vd., 2024). GA; temsil, seçilim, çaprazlama, mutasyon ve uygunluk fonksiyonu temel operatörlerini kullanarak her nesilde gelişmeyi ve daha iyiye ulaşmayı hedefler. Temsil operatörü birey olarak adlandırılan olası tüm çözümlerin belirli bir formata kodlanmasını sağlar. Seçilim operatörü ise, uygunluk fonksiyonu ile belirlenen uygunluk değerlerine göre kaliteli bireyleri sonraki nesillere aktarır. Çaprazlama ve mutasyon operatörleri popülasyon çeşitliliğini sağlayarak algoritmanın yerel optimumlara takılmasına engel olur (Holland, 1992).

Biyo-esinli ve evrimsel algoritmaların öne çıkan uygulama alanlarından biri Doğal Dil İşleme (Natural Language Processing, NLP) alanıdır (Ho vd., 2025). Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde; Gramer İndüksiyonu (Gİ), Ayrıştırma, Varlık İsim Tanıma, İlişki Tespiti, Varlık İlişkilendirme, Diyalog Sistemleri, Spam Tespiti ve Duygu Analizi gibi farklı NLP görevlerinde de GA tabanlı yaklaşımların başarılı, uygulanabilir çözümler sunduğu görülmektedir (Araujo, 2020).

Gİ, örnek olarak verilen metin dizilerinden bir dilin söz dizimsel kurallarının denetimsiz olarak türetilmesi problemidir. Bu problemde temel amaç, bilinmeyen bir dilin hangi dil olduğunun verilen bilgilerden tespit edilmesidir (Gold, 1967). Olası gramerlerin oluşturduğu arama uzayının genişliği ve karmaşıklığı nedeniyle zorlu bir problem olarak kabul edilmektedir (Lankhorst, 1994). Klasik kesin yöntemler teorik olarak garanti sağlamakla birlikte, büyük otomata ve geniş arama uzaylarında önemli hesaplama ve ölçeklenebilirlik sorunlarıyla karşılaşabilmektedir (Umili & Capobianco, 2024). Bu doğrultuda popülasyon tabanlı evrimsel algoritmaların geniş kural uzaylarını taramada sağladığı esneklik önemli bir alternatif oluşturmaktadır.

Gİ probleminde hedeflenen kural kümesi bir Bağlamdan Bağımsız Gramer (Context-Free Grammar, CFG) modelidir. Doğal dillerin biçimsel yapısını sonlu sayıda kural üzerinden

açıklayan CFG kavramı; değişkenler (N), terminaller (Σ), üretim kuralları (P) ve başlangıç sembolü (S) olmak üzere G = (N, Σ, P, S) dörtlüsüyle ifade edilmektedir (Chomsky, 1956). Bu modelde terminaller söz türü (Part-of-Speech, POS) etiketlerine, değişkenler ise isim veya fiil öbeği gibi yapısal öbek hiyerarşilerine karşılık gelmektedir. Gold (1967), CFG modellerinin yalnızca olumlu örneklerle eğitilmesinin aşırı genellemeye yol açtığını; bu nedenle negatif örneklere de gereksinim duyulduğunu göstermiştir. Bu kuramsal kısıtı aşmak ve gramerin sınırlarını doğru belirleyebilmek adına denetimsiz öğrenme sürecinde negatif örneklerin kullanımı bir zorunluluktur.

Türkçe için CFG tabanlı bir Gİ modeli oluşturmak, dilin morfolojik özellikleri nedeniyle zor bir problemdir. Oflazer'in (1993) çalışmasında belirttiği üzere; Türkçe sondan eklemeli yapısı ve ses uyumu kuralları sebebiyle karmaşık bir morfolojiye sahiptir. Güncel çalışmalar, Türkçede biçimbirimsel katmanlaşma ile söz dizimsel yapının yüzey diziliminde birebir örtüşmemesinin ve gizli özne gibi örtük ögelerin varlığının, hesaplamalı modellerde yapısal ayrıştırma karmaşıklığını önemli ölçüde artırdığını vurgulamaktadır (Acar & Eryiğit, 2026). Morfolojik karmaşıklığın söz türü düzeyinde soyutlanması ayrıştırmayı kolaylaştırsa da, cümlenin kurallı yapısını koruyan dizilim kısıtlarının modellenmesi özelleştirilmiş stratejiler gerektirmektedir.

Bu çalışmada, Türkçe POS etiketi dizilimlerinden CFG üretim kurallarını denetimsiz biçimde öğrenen, operatör parametreleri sistematik olarak optimize edilmiş bir GA yaklaşımı önerilmiştir. Deneysel çalışmalar, Boğaziçi Üniversitesi tarafından Evrensel Bağımlılıklar (Universal Dependencies, UD) çerçevesinde oluşturulan ve elle etiketlenmiş cümlelerden meydana gelen UD_Turkish-BOUN (Türk vd., 2022) ağaçbankası üzerinde gerçekleştirilmiştir. Tekrarlanabilirliği güvence altına almak adına ağaçbankası belirli bir sürüme (r2.15) sabitlenmiş ve eğitim, doğrulama ile test olmak üzere üç bağımsız alt kümeye ayrılarak kullanılmıştır. Önerilen yöntemin başarısı; tek çözümlü yerel arama olan Isıl İşlem (Simulated Annealing, SA) (Kirkpatrick vd., 1983), Rastgele Arama (RA) ve arama içermeyen yapısal temel çizgi olmak üzere üç farklı karşılaştırma modeline karşı, çok sayıda bağımsız tekrarla ve Mann–Whitney U (Mann & Whitney, 1947) istatistiksel anlamlılık testiyle değerlendirilmiştir. Böylece çalışma, evrimsel yaklaşımın yalnızca uygulanabilirliğini göstermekle kalmamakta; popülasyon tabanlı aramanın, daha düşük karmaşıklıktaki alternatiflere kıyasla sağladığı katkının niteliğini de ortaya koymaktadır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

2.1. GA ile Gramer Üzerine Yapılan Çalışmalar

Pandey (2024), CFG ile kural çıkarımı problemini çözmek amacıyla GA tabanlı Gİ (GIGA) yöntemini önermiştir. Çalışmada, popülasyon çeşitliliğini artırmak ve erken yakınsamayı önlemek amacıyla çaprazlama ve mutasyon işlemlerinde Boolean operatörleri kullanılmıştır. Yöntem ilk aşamada gramer kuralları oluşturulup doğrulanması, ikinci aşamada ise GA aracılığı ile en iyi üretim kurallarını arama şeklinde iki aşamalı bir yapıyı takip etmiştir. GIGA, literatürde erken yakınsamayı engellemeyi hedefleyen diğer algoritmalarla karşılaştırılmış ve uygunluk skoru açısından diğer yöntemlere göre daha üstün bir performans sergilemiştir.

Criado vd. (2024) Gramer Güdümlü Genetik Programlama (GGGP) operatörlerinin, özellikle büyük arama uzaylarındaki keşif ve sömürü dengesizliğinin üstesinden gelmek amacıyla bir dağılım tahmini algoritması geliştirmiştir. Bu algoritmada çözüm uzayındaki yapısal bağımlılıkları koruyan CFG Genişletmesi (CFGE) kullanılarak olasılıksal bir model oluşturulmuştur. Ayrıca, algoritmada standart Dağılım Tahmini Algoritmaları (Estimation of Distribution Algorithm, EDA) yöntemlerinin yaşadığı çeşitlilik kaybını önlemek amacıyla, Yumuşatılmış Dağılım Tahmini Algoritması (SEDA) kullanılarak olasılık dağılımına

uygulanan bir yumuşatma ile algoritmanın keşif gücü artırılmıştır. SEDA'nın başarısı yapılan testler ile ortaya konmuş; karmaşık problemlerde standart yöntemlere göre daha doğru çözümler ürettiği ve dengeli bir yakınsama performansı sunduğu ispatlanmıştır.

Wieczorek vd. (2021) bağlam-duyarlı Gİ problemi için pozitif ve negatif örneklerden öğrenen bir sistem geliştirmiştir. Çalışmada, Kuroda Normal Formundaki gramerleri temsil etmek için tamsayı dizileri kullanılmış ve algoritmanın başarısı dengeli doğruluk skoru ile ölçülmüştür. Yöntem olarak, her iterasyonda popülasyonun tamamını değiştirmek yerine sadece belirli bireyleri güncelleyen Kararlı Durum GA'sı tercih edilmiştir. Bu yaklaşımda, turnuva yöntemi ile seçilen ebeveynlerden üretilen yeni birey, popülasyondaki en düşük uygunluk değerine sahip diğer bir ifadeyle en zayıf bireyin yerine geçerek evrimsel süreci sürdürür.

2.2. GA ile Türkçe Üzerine Yapılan Çalışmalar

Türkçe dilinde GA ile yapılan çalışmalarda genellikle metin özetleme ve sınıflandırma gibi problemlerde çalışılmıştır.

Ozcalici & Kilic (2025), Türkçe muhasebe ve finans makalelerinin özetlerinden konu modellemesi yapmak amacıyla 928 özet üzerinde çalışmış; GA'yı Latent Dirichlet Allocation (LDA) ile birleştiren bir hibrit model sunmuşlardır. Bu modelde GA, LDA analizi için en uygun kelime alt kümesini seçerek modelin tahmin gücünü optimize etmek amacıyla kullanılmış ve sınıflandırma doğruluğunda %82 gibi başarılı sonuçlar elde edilmiştir.

Güllü & Polat (2022), Türkçe metinlerin yazar tahmini problemi için GA ve Topluluk Öğrenme yöntemlerinin hibrit bir modelini önermişlerdir. Çalışmada, 40 farklı yazara ait metinler üzerinde; sözdizimsel/yapısal analiz, ikileme kullanımı, etkisiz kelime analizi ve N-gram modeli olmak üzere dört farklı yaklaşım kullanılarak veri kümeleri oluşturulmuştur. Bu çalışmada GA, bu farklı veri kümelerindeki metinlerden elde edilen özniteliklerin en ayırt edici olanlarını seçmek amacıyla kullanılmış ve sınıflandırma doğruluğunu %8 oranında artırarak %89 başarıya ulaşmıştır.

Örücü & Dalkılıç (2011), yazarları karakterize eden kelime uzunluğu, noktalama işareti sıklığı, n-gram gibi 24 farklı stil belirtecinin en etkili birleşimini belirlemek amacıyla GA kullanmışlardır. Çalışmada, her bir genin bir özniteliğin kullanım durumunu (1: var, 0: yok) temsil ettiği 24 bitlik bir kromozom yapısı tasarlanmıştır. Ebeveyn seçimi için ise Doğrusal Sıralama Seçimi yöntemi kullanılmış ve elitizm stratejisi ile en iyi bireylerin korunması sağlanmıştır. Çeşitliliği artırmak amacıyla standart çaprazlama ve bit tersleme mutasyonu uygulanmıştır. Ayrıca çalışmada, tahmin edilen ilk üç yazarın sıralamasına göre puanlandığı Ağırlıklı Uygunluk ve sadece doğru tahmine odaklanan Ağırlıksız Uygunluk olmak üzere iki farklı uygunluk fonksiyonu test edilmiştir. Deneyler sonucunda, ağırlıklı uygunluk fonksiyonu kullanan GA yaklaşımı ile eğitim setindeki başarı oranı %90,1'den %94,6'ya, test setindeki başarı ise %87,1'den %90,5'e yükseltilmiştir.

Mevcut literatür, Türkçe NLP'de GA kullanımının büyük oranda metin sınıflandırma ve öznitelik indirgeme ile sınırlı kaldığını; doğrudan biçimsel söz dizimi kurallarının çıkarımını hedefleyen Gİ çalışmalarının ise eksik olduğunu göstermektedir. Bu çalışma, söz konusu boşluğu doldurmayı ve çoklu tohumlar ile istatistiksel hipotez testlerine dayalı doğrulanabilir bir çerçeve sunmayı amaçlamaktadır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Veri Kümesi ve Ön İşleme

Çalışmada, Boğaziçi Üniversitesi tarafından Evrensel Bağımlılıklar standartlarında oluşturulan UD_Turkish-BOUN ağaçbankası kullanılmıştır (Türk vd., 2022, 2024). Veri kümesinin zaman içinde güncellenmesinden kaynaklanabilecek sapmaları önlemek amacıyla r2.15 sürüm etiketi sabitlenmiştir.

Ön işleme aşamasında söz dizimsel iskelete katkı sağlamayan: noktalama işaretleri (PUNCT), semboller (SYM) ve belirsiz etiketler çıkarılarak yalnızca 10 temel POS etiketi (NOUN, VERB, ADJ, ADV, PRON, DET, ADP, NUM, CCONJ, PROPN) korunmuştur. Ayrıştırma karmaşıklığını yönetilebilir sınırda tutmak amacıyla üç ila yedi etiket uzunluğundaki cümleler filtrelenmiştir. Ayrıca cümlenin yapısal bütünlüğünü sağlamak adına yüklem (VERB) içermeyen dizilimler pozitif kümeden çıkarılmıştır. Ayrı veri kümelerinin dağılımı Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Veri kümesi bileşimi

Küme	**Pozitif**	**Negatif**	**Kullanım**
Eğitim	1439	2569	Kural havuzu + arama
Doğrulama	225	408	Operatör/gramer seçimi
Test	232	413	Genelleştirme

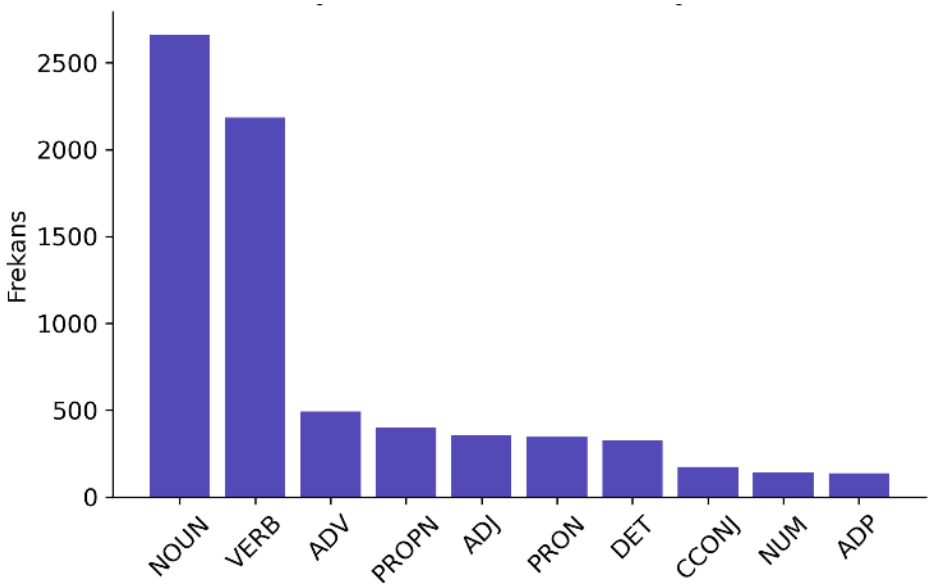
Negatif örnekleme stratejisinde Türkçenin serbest söz dizimsel özellikleri dikkate alınmıştır. Rastgele karıştırma yöntemi geçerli Türkçe dizilimleri de üretebileceğinden kaçınılmış; bunun yerine iki dilbilimsel gerekçeli dönüşüm uygulanmıştır:

1. **Yüklem Silme (Yapısal Bozma):** Cümledeki yüklem (VERB) düşürülerek yüklemsiz ve dilbilgisi dışı yapay örnekler üretilmiştir.
2. **Dizilim Bozma (Söz Dizimsel İhlal):** Türkçenin güvenilir söz dizimsel kısıtlarını ihlal eden edatın cümle başına alınması, belirtecin cümle sonuna alınması veya dizinin baştan sona ters çevrilmesi gibi dönüşümler uygulanmıştır.

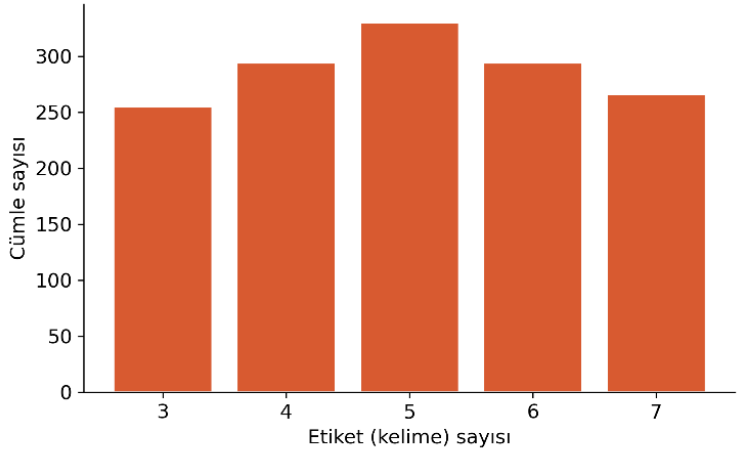
Çalışmada kullanılan temel POS etiketleri Tablo 2'de özetlenmiş; eğitim kümesindeki söz türü ve cümle uzunluğu dağılımları sırasıyla Şekil 1 ve Şekil 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. POS etiketleri ve açıklamaları

Etiket	**Açıklama**	**Örnek**
NOUN	İsim	kitap, ev, okul
VERB	Fiil	geldi, koşuyor, okumak
ADJ	Sıfat	kırmızı, güzel, büyük
ADV	Zarf	hızlıca, yarın, çok
PRON	Zamir	ben, o, kim
DET	Belirteç	bu, şu, her
ADP	Edat	için, gibi, kadar
NUM	Sayı	bir, iki, yüz
CCONJ	Bağlaç	ve, veya, ama
PROPN	Özel İsim	Türkiye, Mersin, Atatürk



Şekil 1. Eğitim kümesinde söz türü dağılımı.



Şekil 2. Eğitim kümesinde cümle uzunluğu dağılımı.

3.2. Kural Havuzu ve Genom Temsili

GA'nın arama uzayını optimize etmek amacıyla, toplam 49 aday kuraldan oluşan hibrit bir kural havuzu oluşturulmuştur. Bu havuz veri tabanlı ve bilgi tabanlı olmak üzere iki bileşenden meydana gelmektedir. Veri tabanlı bileşende, eğitim verisindeki en sık görülen ardışık etiket ikilileri istatistiksel olarak çıkarılmış ve dilbilgisel sezgiye göre uygun öbek başlığına atanmıştır. Örneğin yüklemle biten ikililer fiil öbeğine, ad bileşenlerinden oluşan ikililer isim öbeğine bağlanmıştır. Bilgi tabanlı bileşende ise, Türkçe cümle yapısına uygun, elle tanımlanmış yapısal kurallar örneğin S → NP VP, VP → NP VERB, NP → DET NOUN havuza eklenmiştir. Bu hibrit tasarım sayesinde GA'nın tamamen rastgele başlaması engellenmiş ve algoritmaya Türkçe cümle yapısı hakkında ön bilgi kazandırılmıştır.

Her aday gramer, kural havuzundaki her bir kuralın etkin olup olmadığını gösteren ikili (0/1) bir genomla temsil edilmiştir; genomda '1' değeri ilgili kuralın gramere dâhil olduğunu, '0' değeri ise dâhil olmadığını ifade eder. Böylece her birey, havuzdan seçilmiş bir gramere karşılık gelmektedir. Başlangıç popülasyonunda her bireyin genomu hibrit bir dağılımla üretilmiştir: bilgi tabanlı kurallar %70, veri tabanlı kurallar ise %10 olasılıkla etkin olarak başlatılmıştır.

Bir cümlenin gramer tarafından türetilip türetilemediği, başlangıç sembolü daima S olacak biçimde, belleğe alma tekniğine dayalı polinom zamanlı bir tanıma yordamıyla belirlenmiştir. Belleğe alma, bir alt problemin sonucunu saklayarak aynı hesabın tekrarını önleyen bir dinamik programlama tekniğidir ve özyinelemeli kurallar içeren gramerlerde ayrıştırma süresini önemli ölçüde kısaltmaktadır.

3.3. Uygunluk Fonksiyonu

Aday gramerlerin başarımı, doğrulama kümesi üzerinde aynı genom için her zaman aynı değeri üreten deterministik yöntemle hesaplanmıştır. Hesaplama süresini kısaltmak amacıyla arama sırasındaki uygunluk, doğrulama kümesinden sabit tohumla örneklenen 150 pozitif ve 150 negatif cümlelik bir alt küme üzerinde hesaplanmıştır. Son performans değerlendirmesi ise tam veri kümeleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Değerlendirmede, gramerin doğru olarak kabul ettiği olumlu örnek sayısı (Gerçek Pozitif) ve yanlış olarak kabul ettiği olumsuz örnek sayısı (Yanlış Pozitif) temel alınmıştır. Bu sayımlardan; kabul edilenlerin ne kadarının gerçekten doğru olduğunu ölçen Kesinlik, gerçek doğruların ne kadarının yakalandığını ölçen Duyarlılık ve bozuk yapıların ne kadarının reddedildiğini ölçen Özgüllük değerleri türetilmiştir. Uygunluk ölçütü olarak, Kesinlik ve Duyarlılığın harmonik ortalaması olan F1 skoru kullanılmıştır. Ayrıca, üretilen gramerin sade kalmasını sağlamak amacıyla, etkin kural sayısıyla orantılı Denklem (1)'de verilen bir karmaşıklık cezası uygulanmıştır:

$$Uygunluk = F1\ skoru - (AKS \times CK) \quad (1)$$

Burada AKS etkin kural sayısını, CK ise karmaşıklığın etkisini dengeleyen ceza katsayısını (0,0015) ifade etmektedir.

3.4. Karşılaştırma Modelleri

Önerilen GA'nın başarısını konumlandırmak amacıyla üç temel karşılaştırma yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemlerden ilki SA (Kirkpatrick vd., 1983), tek bir çözüm üzerinden ilerleyen ve Metropolis ölçütü uyarınca yalnızca iyileşen değil, belirli bir olasılıkla kötüleşen çözümleri de kabul ederek yerel optimuma takılmayı güçleştiren olasılıksal bir yerel arama yöntemidir. Bir diğeri ise, verilen bütçe boyunca rastgele gramerler üretip en iyisini saklayan ve aramanın yönlendirici katkısını ölçen bir alt sınır modeli olan RA'dır. Son karşılaştırma yöntemi ise herhangi bir arama yapılmadan yalnızca elle tanımlanmış yapısal kurallardan oluşan ve mevcut bilginin tek başına başarısını ölçen aramasız yapısal gramerdir.

Adil bir karşılaştırma sağlamak amacıyla GA, SA ve RA aynı hibrit başlatma dağılımından başlatılmış ve 1600 değerlendirme olmak üzere eşit değerlendirme bütçesiyle çalıştırılmıştır. GA'da ebeveyn seçimi için Turnuva ve Rulet Tekerleği yöntemleri denenmiştir. Turnuva seçiliminde, popülasyondan rastgele seçilen k=3 bireylik bir küme içinden en yüksek uygunluğa sahip olan ebeveyn olarak seçilir. Rulet Tekerleği seçiliminde ise her bireyin seçilme olasılığı, uygunluğuyla orantılıdır. Genetik bilginin aktarımı için tek noktalı ve çift noktalı çaprazlama; çeşitliliğin sağlanması için ise her gen konumunu belirli bir olasılıkla ters çeviren bit-çevirme mutasyonu kullanılmıştır. Ayrıca, her nesilde en yüksek uygunluğa sahip iki bireyin değişmeden sonraki nesle aktarıldığı elitizm stratejisi uygulanmıştır.

Deneysel parametreler Tablo 3'te, önerilen yaklaşımın algoritma akışı Algoritma 1'de sunulmuştur.

Tablo 3. Algoritmaların deneysel parametre ayarları

Algoritma	**Parametre**	**Değer**
GA	Popülasyon büyüklüğü	40
GA	Maksimum nesil sayısı	40
GA	Seçilim yöntemi	Turnuva

GA	Çaprazlama yöntemi	Çift Noktalı
GA	Mutasyon oranı	0,05
GA	Elitizm	Var (en iyi 2 birey)
SA	Başlangıç sıcaklığı	10
SA	Soğutma oranı	0,98
SA	Toplam değerlendirme	1600
Genel	Bağımsız tekrar sayısı	5

Algoritma 1: Türkçe Gİ İçin Önerilen GA Süreci

Girdi:
Kural Havuzu (R), Doğrulama Pozitif Cümleleri (D_{dev}^{+}), Doğrulama Negatif Cümleleri (D_{dev}^{-})
Parametreler:
Popülasyon Büyüklüğü (Pop), Nesil Sayısı (Gen), Mutasyon Oranı (P_m), Ceza Katsayısı (CK)
Çıktı:
En İyi Gramer (G_best)

1. $P_o \leftarrow$ Hibrit strateji ile Pop adet ikili genom üret.
2. $G_{best} \leftarrow \emptyset$; $Score_{best} \leftarrow -\infty$
3. g = 1'den Gen'e kadar tekrarla:
4. $P_{(g-1)}$ içindeki her birey i için:
5. $Gramer_i \leftarrow Decode(Genom_i, R)$
6. eğer $Gramer_i$ geçersiz ise (başlangıç kuralı 'S' yoksa):
7. $Score_i \leftarrow 0$;
8. Değilse:
9. $TP \leftarrow Tanı(Gramer_i, D_{dev}^{+})$
10. $FP \leftarrow Tanı(Gramer_i, D_{dev}^{-})$
11. $Precision \leftarrow TP / (TP + FP)$
12. $Recall \leftarrow TP / |D_{dev}^{+}|$
13. $Score_i \leftarrow F1(Precision, Recall) - (AKS_i \times CK)$
14. eğer $Score_i > Score_{best}$ ise:
15. $(G_{best}, Score_{best}) \leftarrow (Gramer_i, Score_i)$
16. $P_g \leftarrow Elitizm(P_{(g-1)}, Score, en_iyi_k=2)$
17. P_g popülasyonu dolana kadar tekrarla:
18. $(Ebeveyn_1, Ebeveyn_2) \leftarrow TurnuvaSeçilimi(P_{(g-1)}, Score, k=3)$
19. $(Çocuk_1, Çocuk_2) \leftarrow Çaprazlama(Ebeveyn_1, Ebeveyn_2)$
20. $Çocuk_1 \leftarrow BitTerslemeMutasyonu(Çocuk_1, P_m)$
21. $Çocuk_2 \leftarrow BitTerslemeMutasyonu(Çocuk_2, P_m)$
22. $P_g \leftarrow P_g \cup \{Çocuk_1, Çocuk_2\}$
23. döndür $\mathbf{G_{best}}$

AKS_i: i. bireydeki aktif üretim kuralı sayısı.
Tanı(·): Polinom zamanlı belleğe alma ile CFG tanıma yordamı.
Uygunluk hesabı sabit doğrulama alt kümesi üzerinde deterministiktir.

3.5. Değerlendirme Ölçütleri ve İstatistiksel Analiz

Aday gramerlerin ve karşılaştırma modellerinin başarımı; ikili sınıflandırma performans metrikleri, dilbilimsel hata reddetme oranları ve parametrik olmayan istatistiksel hipotez testleri aracılığıyla çok boyutlu olarak değerlendirilmiştir.

3.5.1. Sınıflandırma ve Doğrulama Metrikleri

Bir cümlenin gramer tarafından türetilip türetilemediği polinom zamanlı tanıma yordamıyla belirlendikten sonra, pozitif doğrulama kümesi (D_{dev}^{+}) ve negatif doğrulama kümesi (D_{dev}^{-}) üzerindeki kabul ve red kararları karmaşıklık matrisi bileşenlerine ayrıştırılmıştır:

• **Gerçek Pozitif (TP):** Gramer tarafından doğru biçimde kabul edilen geçerli pozitif cümle sayısı.

• **Yanlış Pozitif (FP):** Gramer tarafından hatalı biçimde kabul edilen dilbilgisi dışı negatif cümle sayısı.

• **Gerçek Negatif (TN):** Gramer tarafından doğru biçimde reddedilen dilbilgisi dışı negatif cümle sayısı.

• **Yanlış Negatif (FN):** Gramer tarafından türetilemeyip hatalı biçimde elenen geçerli pozitif cümle sayısı.

Bu sayımlar üzerinden türetilen temel başarım ölçütleri şu şekilde formüle edilmiştir:

$$Kesinlik\ (Precision, P) = TP/(TP + FP) \quad (2)$$

$$Duyarlılık\ (Recall, R) = TP/(TP + FN) = TP/|D_{dev}^{+}| \quad (3)$$

$$Özgüllük\ (Specificity, Spec) = TN/(TN + FP) = TN/|D_{dev}^{-}| \quad (4)$$

$$\text{F1 skoru} = 2 \times (P \times R)/(P + R) \quad (5)$$

$$Hata\ Reddetme\ Oranı_{kategori} = \frac{TN_{kategori}}{|D_{kategori}^{-}|} \quad (6)$$

Denklem (2) ile ifade edilen Kesinlik metriği modelin kabul ettiği dizilimlerin ne kadarının gerçekten kurallı olduğunu ölçerken; Denklem (3)'te verilen Duyarlılık geçerli Türkçe dizilimleri kapsama gücünü, Denklem (4)'teki Özgüllük ise kuralsız ve bozuk yapıları doğru eleme yetkinliğini temsil etmektedir. Kesinlik ve Duyarlılık arasındaki ödünleşimi dengeleyen ve uygunluk fonksiyonunun temelini oluşturan F1 skoru Denklem (5) ile hesaplanmaktadır. Gramerin yapısal kısıtlara ve etiket diziliş sırasına yönelik dilbilimsel duyarlılığını kategori bazında incelemek amacıyla tanımlanan Hata Reddetme Oranı ise Denklem (6) ile ilgili hata kategorisindeki yapay negatif cümlelerin model tarafından elenme yüzdesini ortaya koymaktadır.

3.5.2. İstatistiksel Anlamlılık Testi

Metasezgisel algoritmaların rastgelelik içeren doğası gereği, elde edilen performans farklarının tesadüfi varyasyonlardan mı yoksa algoritmik üstünlükten mi kaynaklandığını doğrulamak amacıyla istatistiksel hipotez testi yürütülmüştür. Deneylerde her algoritma kısıtlı sayıda tekrarlandığı için küçük örneklem boyutlarında normallik varsayımı güvenilir biçimde doğrulanamaz. Bu sebeple dağılımdan bağımsız parametrik olmayan Mann–Whitney U testi tercih edilmiştir (Mann & Whitney, 1947).

Test önerilen GA yaklaşımının diğer modellerden daha yüksek uygunluk skoru üretip üretmediğini sınamak amacıyla tek yönlü olarak kurgulanmış ve anlamlılık eşiği $\alpha = 0{,}05$ olarak belirlenmiştir. Sıfır hipotezi, modeller arasında performans farkı olmadığını veya GA'nın medyan skorunun karşılaştırma modelinden küçük ya da eşit olduğunu; alternatif hipotez ise GA'nın istatistiksel olarak anlamlı derecede daha yüksek skor ürettiğini ifade etmektedir. Hesaplanan p değerinin 0,05'in altında kalması durumunda fark anlamlı kabul edilmiştir.

4. DENEYSEL TASARIM

Deneyler Python programlama dili kullanılarak Google Colab ortamında yürütülmüştür. Veri kümesi GitHub platformundan sabit sürüm etiketiyle çekilmiş; tüm rastgelelik kaynakları sabit tohum değerleriyle denetim altına alınarak sonuçların tekrarlanabilirliği sağlanmıştır.

Çalışma üç aşamalı olarak tasarlanmıştır. İlk aşamada, GA'nın başarısını doğrudan etkileyen seçilim yöntemi, çaprazlama türü ve mutasyon oranı parametrelerinin en uygun birleşimini belirlemek amacıyla, 12 operatör birleşiminin her biri 3 bağımsız tohumla doğrulama kümesinde çalıştırılmış ve ortalama uygunluk değerine göre sıralanmıştır. İkinci aşamada, optimize edilen GA; SA, RA ve aramasız yapısal temel çizgi ile beş bağımsız tohum üzerinde eşit bütçeyle karşılaştırılmıştır. Yöntemlerin elde ettiği sonuçlar arasında gözlenen farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek için Mann–Whitney U testi kullanılmıştır. Test tek yönlü uygulanmış ve anlamlılık düzeyi $\alpha = 0,05$ olarak belirlenmiştir. Son aşamada ise, doğrulama kümesine göre seçilen en iyi gramer, eğitim sırasında hiç kullanılmamış test kümesi üzerinde değerlendirilmiş; ayrıca yüklem silme ve dizilim bozma yoluyla üretilen hatalı yapıları reddetme oranları hesaplanarak modelin söz dizimsel duyarlılığı incelenmiştir.

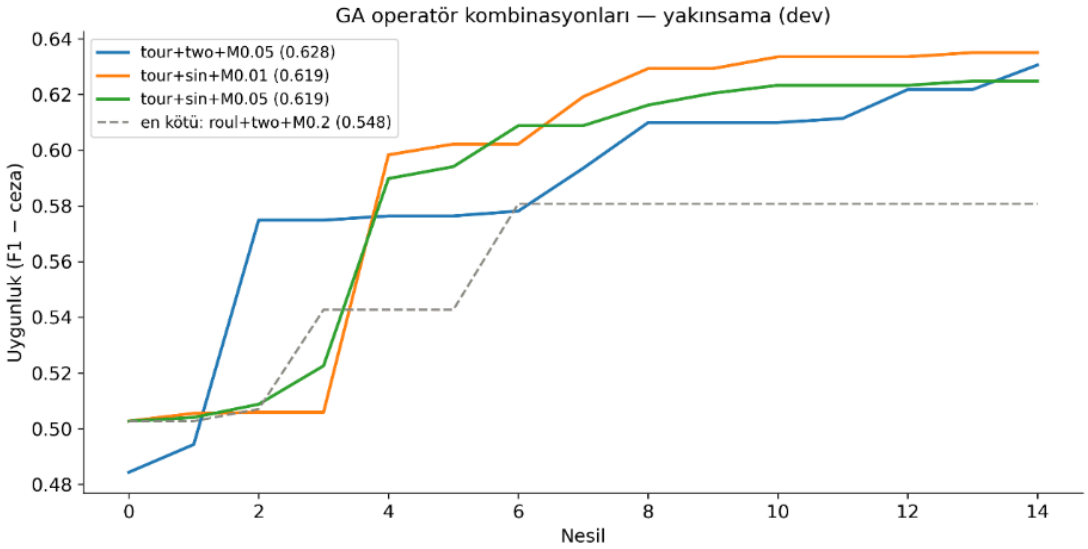
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1. Operatör Analizi Sonuçları

12 operatör kombinasyonunun doğrulama kümesindeki ortalama ve standart sapma değerleri Tablo 4'te, yakınsama eğrileri ise Şekil 3'te gösterilmiştir. En yüksek doğrulama başarımını Turnuva seçilimi, çift noktalı çaprazlama ve 0,05 mutasyon oranı birleşimi 0,6280±0,0035 olarak vermiştir. Genel eğilim, 0,20'lik yüksek mutasyon oranının tüm birleşimlerde başarıyı düşürdüğü ve Turnuva seçiliminin Rulet Tekerleğine göre daha kararlı sonuçlar ürettiği yönündedir.

Tablo 4. Operatör performans sonuçları (doğrulama kümesi, ortalama ± standart sapma (std))

Seçilim	Çaprazlama	Mutasyon	Ortalama	Std
Turnuva	Çift Noktalı	0,05	0,6280	0,0035
Turnuva	Tek Noktalı	0,01	0,6193	0,0117
Turnuva	Tek Noktalı	0,05	0,6193	0,0077
Rulet	Tek Noktalı	0,01	0,6100	0,0099
Turnuva	Çift Noktalı	0,01	0,6074	0,0123
Rulet	Tek Noktalı	0,05	0,6020	0,0093
Rulet	Çift Noktalı	0,05	0,5942	0,0090
Turnuva	Tek Noktalı	0,20	0,5920	0,0200
Rulet	Çift Noktalı	0,01	0,5851	0,0161
Turnuva	Çift Noktalı	0,20	0,5802	0,0115
Rulet	Tek Noktalı	0,20	0,5728	0,0166
Rulet	Çift Noktalı	0,20	0,5481	0,0240



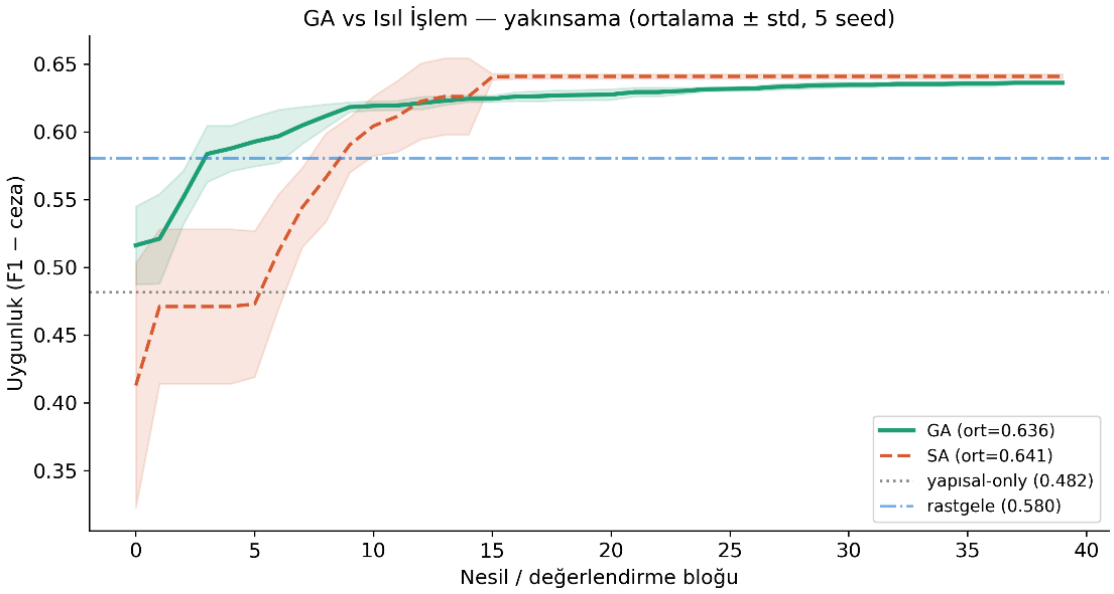
Şekil 3. Operatör birleşimlerinin yakınsama karşılaştırması.

5.2. Temel Modellerle Karşılaştırma

Modellerin 5 bağımsız tohum üzerindeki performansları Tablo 5'te, nesiller boyunca yakınsama seyri ise Şekil 4'te verilmiştir. GA ve SA sırasıyla 0,6362 ± 0,0011 ve 0,6409 ± 0,0018 ortalama uygunluk değerleri üretmiştir. SA'nın ortalama uygunluk değeri GA'dan biraz daha yüksek olmakla birlikte, Mann–Whitney U testi p = 0,996 sonucuyla GA'nın SA'ya üstünlüğü yönündeki hipotezi desteklememiştir. Buna karşılık her iki yöntem de RA'nın 0,5803 değerindeki sonucunu geçmiştir. Mann–Whitney U testinde p=0,006 sonucu ile GA ile RA arasındaki fark istatistiksel olarak anlamlı bulunmuştur. Arama içermeyen yapısal temel çizgi ise 0,4816 değeriyle en düşük değeri üretmiş; bu durum hem mevcut bilginin tek başına yetersiz olduğunu hem de evrimsel aramanın gerçek bir katkı sağladığını göstermektedir.

Tablo 5. Yöntem karşılaştırması (doğrulama kümesi, 5 tekrar)

Yöntem	**Ortalama**	**Std**
GA	0,6362	0,0011
SA	0,6409	0,0018
RA	0,5803	0,0125
Yapısal (aramasız)	0,4816	0,0000



Şekil 4. GA ve SA'nın nesil boyunca uygunluk yakınsaması (ortalama ± standart sapma, 5 tekrar).

Şekil 4'te görüldüğü üzere GA ilk nesilden itibaren yüksek uygunlukta ve dar bir standart sapma bandıyla hızla yakınsarken, SA düşük bir başlangıç değerinden ve geniş bir değişkenlikle ancak daha ileri nesillerde aynı düzeye ulaşmaktadır. Dolayısıyla popülasyon tabanlı GA'nın üstünlüğü çözüm kalitesinde değil, yakınsama hızı ve tekrarlar arası kararlılıkta belirginleşmektedir. Aradaki farkın istatistiksel olarak anlamsız ve büyüklük bakımından ihmal edilebilir olması, tek koşuya ve adil olmayan başlatmaya dayanan karşılaştırmaların neden yanıltıcı sonuçlar üretebileceğini de ortaya koymaktadır.

5.3. Genelleştirme ve Performans

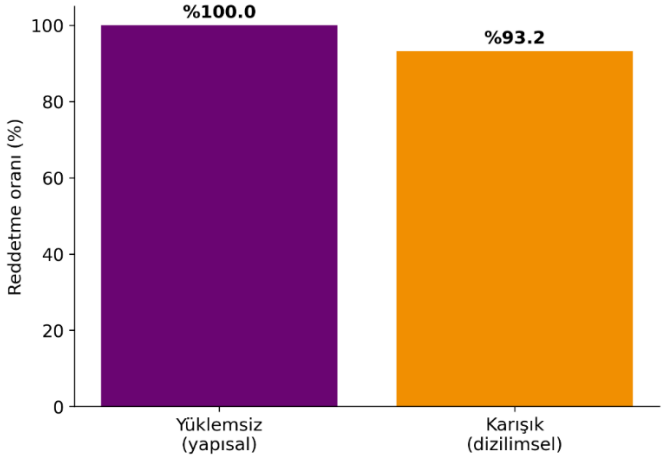
Doğrulama verileri üzerinden seçilen 21 etkin kurallı dilbilgisi modeli tüm veri kümelerinde değerlendirilmiş, ilgili ölçümler Tablo 6'da özetlenmiştir. Eğitim, doğrulama ve test F1 skorlarının sırasıyla 0,681, 0,669 ve 0,652 değerleriyle dengeli bir dağılım göstermesi, modelin ezberleme yapmadığını ve yapısal genelleştirme yeteneği kazandığını ortaya koymaktadır. Modelin yüksek özgüllük (%96,1) ve kesinliğe (%88,2) karşın duyarlılıkta (%51,7) kalması, kural karmaşıklığı cezasının aşırı genellemeyi önlerken bazı nadir yapıların kapsam dışı kalmasına yol açtığını göstermektedir. Sonuçlar yöntemin kabul kararlarındaki yüksek isabetini ve geçersiz girdileri eleme yetkinliğini doğrulamakla birlikte, bazı geçerli biçimleri kapsayamadığını işaret etmektedir. Kural kümesinin genişliğiyle doğrudan ilişkili olan bu sınırlılık, ileriki çalışmalar adına temel bir geliştirme hedefi oluşturmaktadır.

Tablo 6. Nihai gramerin performansı

Küme	**Kesinlik**	**Duyarlılık**	**Özgüllük**	**F1**
Eğitim	0,8957	0,5490	0,9642	0,6807
Doğrulama	0,8955	0,5333	0,9657	0,6685
Test	0,8824	0,5172	0,9613	0,6522

5.4. Hata Analizi

En iyi gramerin bozuk yapıları reddetme oranları Şekil 5'te sunulmuştur. Model, yüklemsiz cümlelerin tamamını, söz dizimi bozulmuş cümlelerin ise %93,2'sini reddetmiştir. Yüklemsiz cümlelerin bütünüyle reddedilmesi, öğrenilen gramerin her türetimi bir yükleme bağlayan yapısından kaynaklanmaktadır; bu nedenle söz konusu sonuç, derin bir söz dizimsel çıkarımdan çok gramerin yüklem zorunlu yapısal tasarımını yansıtmaktadır. Yüklemsiz cümlelerin tamamen elenmesi yapısal kısıtların bir sonucu iken, sırası bozulmuş dizilimlerin yüksek oranda elenmesi modelin etiket diziliş sırasına ve hiyerarşisine karşı yüksek hassasiyet kazandığını doğrulamaktadır.



Şekil 5. En iyi gramerin hata türlerini reddetme oranları (test kümesi).

5.5. Dilbilimsel Doğrulama

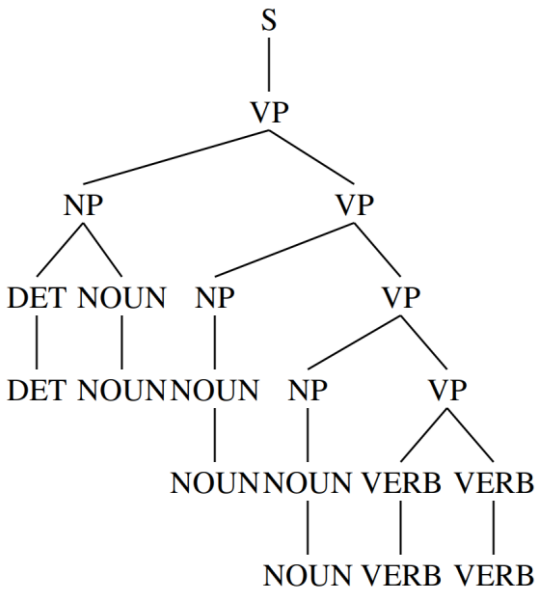
Öğrenilen gramerin yüzeysel bir eşlemeden öte, Türkçenin yapısal düzenliliklerini yakalayıp yakalamadığı, ürettiği ayrıştırma ağaçları üzerinden incelenmiştir. Test kümesinde ayrıştırılan ilk cümle "Bu albüm hit şarkı çıkarmaz, dedim." olup, bu cümleye karşılık gelen söz türü dizisi DET–NOUN–NOUN–NOUN–VERB–VERB biçimindedir; elde edilen ayrıştırma ağacı Şekil 6'da sunulmuştur.

Ağaç yapısı, gramerin birkaç söz dizimsel olguyu başarıyla modellediğini göstermektedir. Birincisi, belirten ile adın bir isim öbeği (NP) oluşturmasıdır; "Bu albüm" öbeği NP → DET NOUN kuralıyla doğru biçimde çözümlenmiştir. İkincisi, "dedim" yükleminin öznesinin (ben) açıkça yer almadığı, Türkçeye özgü özne düşürme, gizli özne olgusudur; bu durum, cümlenin doğrudan bir fiil öbeği olarak başlatıldığı S → VP kuralıyla temsil edilmektedir. Üçüncüsü ise, çıkarmaz dedim şeklindeki art arda gelen fiillerin tek bir fiil öbeği altında VP → VERB VERB kuralıyla gruplanmasıdır.

Öte yandan ağaç, gramerin söz türü düzeyinde doğasından kaynaklanan bazı sınırlılıkları da ortaya koymaktadır. Örneğin "hit şarkı" ad tamlaması tek bir birleşik ad öbeği olarak değil, ardışık biçimde iç içe geçmiş ayrı öbekler olarak çözümlenmiştir. Benzer biçimde, çıkarmaz dedim şeklindeki aslında bir iç cümlecik ile ana yüklemden oluşan dolaylı anlatım yapısı, tam bir tümleç cümleciği olarak değil, komşu iki fiilin düzleştirilmiş birleşimi biçiminde temsil edilmiştir. Bu gözlemler, modelin temel öbek yapılarını ve özne düşürme gibi olguları yakalamakla birlikte, derin ve özyinelemeli söz dizimsel ilişkileri sınırlı ölçüde modelleyebildiğini göstermektedir.

Öğrenilen gramerin başlıca kuralları; cümle düzeyinde S → VP ve S → VP NP; fiil öbeği düzeyinde VP → NP VP, VP → ADV VERB, VP → VERB ve bağlaçlı yapılar için VP → VP

CCONJ VP; isim öbeği düzeyinde ise NP → DET NOUN, NP → ADJ NOUN, NP → NUM NOUN ve NP → NP CCONJ NP biçimindedir. Bu kurallar, Türkçenin yüklem-sonu eğilimini, ad ve sıfat tamlaması yapılarını ve bağlaçlı öbekleri yansıtmaktadır.



Şekil 6. En iyi gramerin ürettiği ayrıştırma ağacı örneği.

5.6. Sınırlılıklar

Çalışmanın bulguları çeşitli sınırlılıklar çerçevesinde değerlendirilmelidir. İlk olarak, negatif örnekler dilbilimsel olarak gerekçelendirilmiş ve hedefli bozmalar yoluyla üretildiğinden, elde edilen yüksek özgüllük ve reddetme oranları kısmen negatif örneklerin tasarımından kaynaklanıyor olabilir. Bu nedenle, özgüllük değerleri gerçek dünyada karşılaşılabilecek her türlü hatalı yapıya yönelik ayırt ediciliğin doğrudan bir göstergesi olarak yorumlanmamalıdır. İkinci olarak, duyarlılığın görece düşük olması, modelin geçerli yapıların bir bölümünü tespit edemediğine işaret etmektedir. Ayrıca çalışma tek bir ağaçbankası, üç ile yedi kelime arasında değişen cümleler ve on temel POS etiketiyle sınırlıdır ve deneyler beş bağımsız tekrarla yürütülmüştür. Bu sınırlılıklar, elde edilen sonuçların genellenebilirliğinin kapsamını belirlemekte ve sonuçların farklı veri kümeleri, daha uzun cümleler ve daha geniş söz türü kategorileri açısından temkinli biçimde değerlendirilmesini gerektirmektedir.

6. SONUÇ VE GELECEK ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada, morfolojik açıdan zengin ve görece serbest söz dizimine sahip Türkçe dili için denetimsiz Gİ problemi, hibrit başlatma ve dilbilimsel gerekçeli negatif örnekleme ile donatılmış, operatör parametreleri optimize edilmiş bir GA yaklaşımıyla ele alınmıştır. Çok sayıda bağımsız tekrarla ve istatistiksel anlamlılık testleriyle yürütülen deneyler, önerilen yaklaşımın görülmemiş test verisinde 0,652 F1 skoruyla genellenebilir bir gramer öğrendiğini göstermiştir. Model, kural karmaşıklığı cezası nedeniyle aşırı genellemeye yol açabilecek gevşek kuralları budamıştır. Bu durum, özgüllüğü %96'nın üzerine ve kesinliği %88'in üzerine çıkararak modelin güvenilirliğini artırmış; ancak kural havuzu kısıtlı tutulduğu için daha nadir görülen geçerli yapıların bir kısmını kapsayamayarak kesinlik lehine duyarlılıktan feragat edilmesine ve metrikler arasında bir dengesizliğe yol açmıştır.

Adil ve tekrarlı karşılaştırma, önemli bir yöntemsel bulguyu ortaya koymuştur: incelenen

problemde başarıyı belirleyen temel etken, hibrit mevcut bilgi ve uygun bir arama stratejisidir. Popülasyon tabanlı GA, tek çözümlü SA'ya göre uygunlukta üstünlük sağlamamakta; ancak belirgin biçimde daha hızlı ve daha kararlı yakınsamaktadır. Her iki metasezgisel yöntem de RA'yı ve arama içermeyen temeli istatistiksel olarak anlamlı biçimde geçmiştir. Bu bulgular, evrimsel algoritmaların Türkçe gibi karmaşık diller için denetimsiz söz dizim öğrenimine uygulanabilirliğini ortaya koyarken; karşılaştırmalı çalışmalarda çoklu tekrar, adil başlatma ve istatistiksel anlamlılık testinin önemini de vurgulamaktadır.

Gelecek çalışmalarda, duyarlılığı artırmak amacıyla kural havuzunun genişletilmesi, daha büyük veri kümeleriyle ölçekleme ve kelime kök-ek ilişkilerini kapsayan morfolojik bir çözümleme katmanının sisteme entegre edilmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKÇA

Acar, K., & Eryiğit, G. (2026). Typology-Aware multilingual morphosyntactic parsing with joint abstract node modeling. *Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, *1*, 47907-47920. https://doi.org/10.18653/V1/2026.ACL-LONG.2212

Araujo, L. (2020). Genetic programming for natural language processing. *Genetic Programming and Evolvable Machines*, *21*(1-2), 11-32. https://doi.org/10.1007/S10710-019-09361-5

Benaissa, B., Kobayashi, M., Ali, M. Al, Khatir, T., & Elmeliani, M. E. A. E. (2024). Metaheuristic optimization algorithms: An overview. *HCMCOU Journal of Science - Advances in Computational Structures*, *14*(1), 33-61. https://doi.org/10.46223/HCMCOUJS.ACS.EN.14.1.47.2024

Chomsky, N. (1956). Three models for the description of language. *IRE Transactions on Information Theory*, *2*(3), 113-124. https://doi.org/10.1109/TIT.1956.1056813

Criado, P. R., Rolanía, D. B., de la Hoz, D., & Manrique, D. (2024). Estimation of distribution algorithm for grammar-Guided genetic programming. *Evolutionary Computation*, *32*(4), 339-370. https://doi.org/10.1162/EVCO_A_00345

Gold, E. M. (1967). Language identification in the limit. *Information and Control*, *10*(5), 447-474. https://doi.org/10.1016/S0019-9958(67)91165-5

Güllü, M., & Polat, H. (2022). Text authorship identification based on ensemble learning and genetic algorithm combination in Turkish text. *Politeknik Dergisi*, *25*(3), 1287-1297. https://doi.org/10.2339/POLITEKNIK.992493

Ho, H. T., Nguyen, T. T. H., Huy, D. N. M., & Nguyen, L. V. (2025). Bio-Inspired algorithms in NLP techniques: Challenges, limitations and its applications. *Computers, Materials & Continua*, *83*(3), 3945-3973. https://doi.org/10.32604/CMC.2025.063099

Holland, J. H. (1992). Genetic algorithms. *Scientific American*, *267*(1), 66-72. https://doi.org/10.1038/SCIENTIFICAMERICAN0792-66

Kirkpatrick, S., Gelatt, C. D., & Vecchi, M. P. (1983). Optimization by simulated annealing. *Science*, *220*(4598), 671-680. https://doi.org/10.1126/science.220.4598.671

Lankhorst, M. M. (1994). A genetic algorithm for grammatical inference. *Lecture Notes in Computer Science*, *796 LNCS*, 418-419. https://doi.org/10.1007/BFB0020409

Mann, H. B., & Whitney, D. R. (1947). On a test of whether one of two random variables is stochastically larger than the other. *The Annals of Mathematical Statistics*, *18*(1), 50-60. https://doi.org/10.1214/AOMS/1177730491

Oflazer, K. (1993). Two-level description of Turkish morphology. *Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics*. https://aclanthology.org/E93-1066/

Ozcalici, M., & Kilic, M. (2025). GA-LDA approach for topic modeling in Turkish accounting and finance articles: Performance optimization in text classification. *Spectrum of Operational*

Research, *2*(1), 346-363. https://doi.org/10.31181/SOR21202521

Örücü, F., & Dalkılıç, G. (2011). Feature selection for author identification using genetic algorithms. *International Symposium on Computing in Science & Engineering*.

Pandey, H. M. (2024). Genetic algorithm with modified reproduction operators for grammatical inference. *Genetic and Evolutionary Computation Conference Companion*, 2135-2138. https://doi.org/10.1145/3638530.3654151

Türk, U., Atmaca, F., Özateş, B. Ş., Berk, G., Bedir, T. S., Köksal, A., Başaran Öztürk, B., Güngör, T., & Özgür, A. (2022). Resources for Turkish dependency parsing: Introducing the BOUN treebank and the BoAT annotation tool. *Language Resources and Evaluation*, *56*(1), 259-307. https://doi.org/10.1007/S10579-021-09558-0

Türk, U., Atmaca, F., Özateş, B. Ş., Berk, G., Bedir, T. S., Köksal, A., Başaran Öztürk, B., Güngör, T., & Özgür, A. (2024). *UD_Turkish-BOUN (r2.15) [Veri kümesi]*. https://github.com/UniversalDependencies/UD_Turkish-BOUN/tree/r2.15

Umili, E., & Capobianco, R. (2024). DeepDFA: Automata learning through neural probabilistic relaxations. *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*, *392*, 1051-1058. https://doi.org/10.3233/FAIA240596

Wieczorek, W., Nowakowski, A., Unold, O., Chandlee, J., Eyraud, R., Heinz, J., Jardine, A., & Van Zaanen, M. (2021). A toolbox for context-Sensitive grammar induction by genetic search. *International Conference on Grammatical Inference*, *153*, 191-201. https://proceedings.mlr.press/v153/wieczorek21a.html

TÜRKÇE SAHTE HABER TESPİTİNDE FEDERE ÖĞRENME: MİMARİ, İSTEMCİ SAYISI VE YEREL EĞİTİM EPOKLARININ KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ

Arş. Gör. Oben ADAK
Mersin University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, 33343 Ciftlikkoy, Mersin
ORCID ID: 0009-0000-1289-437X
Doç. Dr. Mehmet ACI
Mersin University, Faculty of Engineering, Department of Computer Engineering, 33343 Ciftlikkoy, Mersin
ORCID ID: 0000-0002-7245-8673

ÖZET
Dijital haber platformlarında ve sosyal medya kanallarında dezenformasyon içeriklerinin artması, doğru habere erişimi güçleştirmekte ve otomatik yalan haber tespit sistemlerine duyulan ihtiyacı artırmaktadır. Haber ajansları ve bağımsız doğrulama kuruluşları kendi bünyelerinde etiketli veri kaynakları barındırmalarına rağmen, yasal düzenlemeler, kullanıcı gizliliği ve ticari rekabet gibi nedenlerle bu verilerin merkezi bir havuzda birleştirilmesi pratikte güçleşmektedir. Federe Öğrenme (Federated Learning, FL), ham verilerin kaynak cihaz veya kurumlarda tutulduğu ve yalnızca model parametrelerinin paylaşılması yoluyla ortak bir modelin eğitildiği dağıtık bir öğrenme yaklaşımıdır. Bu çalışmada, Türkçe yalan haber tespitinde federe öğrenmenin uygulanabilirliği; model mimarisi, istemci sayısı ve yerel eğitim epok sayısı faktörleri üzerinden karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Deneyler, TR-FakeNews veri kümesinden elde edilen 5.326 Türkçe haber başlığı ve açıklaması üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çok Katmanlı Algılayıcı (Multi-Layer Perceptron, MLP), Metin Konvolüsyonel Sinir Ağı (Text Convolutional Neural Network, TextCNN) ve Uzun-Kısa Süreli Bellek (Long Short-Term Memory, LSTM) olmak üzere üç derin öğrenme mimarisi; Federe Ortalama (Federated Averaging, FedAvg) algoritması kullanılarak iki, üç ve dört istemcili yapılandırmalar ile bir, üç ve beş yerel epok kombinasyonlarında ve üç farklı rastgele tohum altında değerlendirilmiştir. Böylece toplam 81 federe ve dokuz merkezi eğitim deneyi gerçekleştirilmiştir. Test F1 skorları üzerinde gerçekleştirilen üç yönlü varyans analizi sonucunda model mimarisinin test performansı üzerinde istatistiksel olarak anlamlı bir etkisi olduğu ve model mimarisi ile yerel eğitim epok sayısı arasında anlamlı bir etkileşim bulunduğu belirlenmiştir. Buna karşılık istemci sayısının ana etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır. Federe deneyler arasında en yüksek ortalama test F1 skoru, TextCNN mimarisinde dört istemci ve beş yerel epok yapılandırmasında 0,9497 olarak elde edilmiştir. Üç mimari genelinde federe ve merkezi eğitim arasındaki ortalama test F1 farkının 0,4–0,6 yüzde puanı aralığında olduğu gözlenmiştir. Bulgular, incelenen deney koşulları altında federe öğrenmenin Türkçe yalan haber tespitinde merkezi eğitime yakın performans sağlayabildiğine işaret etmektedir.

Anahtar kelimeler: Federe öğrenme, Türkçe yalan haber tespiti, FedAvg, TextCNN, LSTM, metin sınıflandırma, varyans analizi

FEDERATED LEARNING FOR TURKISH FAKE NEWS DETECTION: A COMPARATIVE ANALYSIS OF ARCHITECTURE, NUMBER OF CLIENTS, AND LOCAL TRAINING EPOCHS

ABSTRACT

The increasing prevalence of disinformation on digital news platforms and social media channels has made access to reliable information more difficult and increased the need for automated fake news detection systems. Although news agencies and independent fact-checking organizations maintain labeled data sources within their own infrastructures, consolidating these data into a centralized repository is often impractical due to legal regulations, user privacy concerns, and commercial competition. Federated Learning (FL) is a distributed learning approach in which raw data remain on source devices or within institutions, while only model parameters are shared to train a common global model. This study investigates the applicability of federated learning to Turkish fake news detection through a comparative analysis of model architecture, number of clients, and local training epochs. Experiments were conducted on 5,326 Turkish news headlines and descriptions obtained from the TR-FakeNews dataset. Three deep learning architectures, namely Multi-Layer Perceptron (MLP), Text Convolutional Neural Network (TextCNN), and Long Short-Term Memory (LSTM), were evaluated using the Federated Averaging (FedAvg) algorithm across configurations involving two, three, and four clients and one, three, and five local training epochs, with three different random seeds. In total, 81 federated training experiments and nine centralized reference experiments were conducted. A three-way analysis of variance on test F1 scores indicated that model architecture had a statistically significant effect on test performance and that a significant interaction existed between model architecture and the number of local training epochs. In contrast, the main effect of the number of clients was not statistically significant. Among the federated experiments, the highest mean test F1 score of 0.9497 was obtained by the TextCNN architecture with four clients and five local training epochs. Across the three architectures, the mean difference in test F1 between federated and centralized training remained within 0.4–0.6 percentage points. These findings indicate that, under the experimental conditions considered, federated learning can achieve performance close to centralized training for Turkish fake news detection.

Keywords: Federated learning, Turkish fake news detection, FedAvg, TextCNN, LSTM, text classification, analysis of variance

1. GİRİŞ

Sosyal medya ve dijital haber platformlarının yaygın biçimde kullanılması, bilgiye erişim olanaklarını genişletirken aynı zamanda dezenformasyon ve yalan haberlerin hızla yayılmasına elverişli bir ortam yaratmıştır. Yapılan güncel literatür taramaları, özellikle X (Twitter) ve Facebook gibi ağların yanıltıcı içerik yayılımında en sık kullanılan platformlar olduğunu göstermektedir (Dal Forno vd., 2025). Yanıltıcı bilgilerin toplumsal güven ve istikrarı tehdit eden bir bilgi pandemisi boyutuna ulaştığı görülmektedir (Surjatmodjo vd., 2024). Bu kontrolsüz bilgi akışının geleneksel ve manuel yöntemlerle doğrulanmasının yetersiz kalması, yapay zekâ ve makine öğrenmesi tabanlı otomatik tespit sistemlerini kritik bir çözüm aracı haline getirmiştir (Dal Forno vd., 2025; Surjatmodjo vd., 2024).

Doğal Dil İşleme (Natural Language Processing, NLP) ve derin öğrenme teknikleri, yalan haber tespitinde yüksek başarım oranlarına ulaşmaktadır (Mouratidis vd., 2025; Tian vd., 2025). Tespit algoritmalarının sahte haberlerdeki dilsel ve anlamsal manipülasyonları yakalayabilmesi, farklı kaynaklardan derlenmiş yüksek hacimli ve zengin etiketli merkezi veri kümelerine doğrudan bağımlıdır; aksi takdirde sınırlı verilerle eğitilen modellerin gerçek dünya

senaryolarında ciddi bir başarım kaybı yaşadığı bildirilmektedir (Kuntur vd., 2026).

Haber doğrulama platformları, haber ajansları ve sosyal ağlar kendi içlerinde değerli etiketli veri kümelerine sahiptir. Ancak kullanıcı mahremiyetini koruma zorunluluğu ve platformlar arası ticari rekabet, bu verilerin merkezi bir sunucuda toplanarak paylaşılmasını engellemektedir. Dağıtık uç veri merkezleri arasında yüksek hacimli sosyal ağ verilerini taşımanın getirdiği yüksek iletişim maliyeti de merkezi modellerin eğitilmesini güçleştirmektedir. Bu kısıtların üstesinden gelmek adına; ham verilerin yerel sunucularda tutulduğu ve yalnızca model ağırlıklarının merkezi bir koordinatör ile paylaşıldığı Federe Öğrenme (Federated Learning, FL) yaklaşımı öne çıkmaktadır (Wang vd., 2024).

Federe Ortalama (Federated Averaging, FedAvg) algoritması, McMahan vd. (2017) tarafından dağıtık ortamlarda derin öğrenme modellerinin optimize edilmesi amacıyla önerilmiştir. Algoritma, istemcilerin yerel verileri üzerinde birden fazla yerel epok gerçekleştirerek hesaplama yükünün önemli bir bölümünü istemci tarafına dağıtmakta ve bu sayede küresel modelin eğitimi sırasında ortaya çıkan temel kısıtlardan biri olan iletişim maliyetini büyük ölçüde azaltmaktadır. McMahan vd. (2017) çalışmalarında ayrıca Çok Katmanlı Algılayıcı (Multi-Layer Perceptron, MLP), Evrişimli Sinir Ağları (Convolutional Neural Network, CNN) ve dil modellemesinde kullanılan Uzun-Kısa Süreli Bellek (Long Short-Term Memory, LSTM) gibi farklı Yapay Sinir Ağı (YSA) mimarilerinin, merkezi öğrenme yaklaşımlarıyla rekabet edebilecek bir başarım düzeyine dağıtık ve gizlilik odaklı bir öğrenme ortamında ulaşabildiğini göstermiştir. Güncel araştırmalar da FL'nin yalnızca veri gizliliğini korumakla kalmadığını, verilerin parçalanarak yerel istemcilerde eğitilmesinin model başarımını düşürmediğini ve hatta merkezi modellerle eşdeğer sonuçlar üretebildiğini doğrulamaktadır (Machová vd., 2024; Pillai & Hu, 2024).

Federe NLP literatürünü sistematik olarak derleyen güncel çalışmalar, mevcut uygulamaların büyük oranda İngilizce odaklı yürütüldüğünü ve İngilizce dışındaki dillerin belirgin biçimde sınırlı kaldığını ortaya koymaktadır (Khan vd., 2024).

Güncel Türkçe literatüründe yapay zekâ ile sahte haber tespiti çalışmaları incelendiğinde başarılı sonuçlar alındığı görülmektedir. Kulaksız & Coşkunçay (2025), 2015-2023 yılları arasında TRT RSS servisinden alınan doğrulanmış haberler ve Teyit.org platformundan derlenen asılsız iddialardan oluşan 5.326 kayıtlık Türkçe veri kümesini oluşturmuş; veri kümesine ön işleme adımlarını uyguladıktan sonra Terim Sıklığı – Ters Belge Sıklığı (Term Frequency–Inverse Document Frequency, TF-IDF) ile eğitilen Destek Vektör Makineleri (Support Vector Machines, SVM) ile %93,12 doğruluk, LSTM ile %92,21 doğruluk elde etmiştir. Akpinar vd. (2025), 10.000 doğrulanmış Türkçe haberden oluşan dengeli bir veri kümesi üzerinde dikkat mekanizması ile güçlendirilmiş bir LSTM mimarisi test etmiştir. Geliştirilen model %92 doğruluk ve 0,92 F1 skoruna ulaşarak %90 doğruluğa sahip ince ayarlı Türkçe için Transformers Tabanlı Çift Yönlü Kodlayıcı Temsilleri (Bidirectional Encoder Representations from Transformers for Turkish, BERTurk) modelini geride bırakmış; ayrıca BERT'e kıyasla eğitim süresinde %40 azalma sağlayarak kaynak kısıtlı ortamlarda hafif modellerin üstünlüğünü belgelemiştir. Koru & Uluyol (2024), Twitter üzerindeki Türkçe sahte haberleri tespit etmek amacıyla Twitter üzerinden topladıkları tweetleri, gazeteler ve doğrulama platformları aracılığıyla etiketleyerek 18.695 tweetlik Türkçe Sahte ve Gerçek Haberler veri kümesini sunmuştur. Ön işleme aşamasının ardından test edilen modeller arasında en yüksek başarımı %94 doğruluk ile BERTurk+CNN mimarisinde elde edilmiştir. Fidan vd. (2025) ise 38 haber kaynağına ait 5.169 Türkçe tweet üzerinde metin içeriğini kullanıcı ve sosyal güvenilirlik puanlarıyla birleştirerek ince ayarlı Llama-2-7B ve Phi-3-mini modellerini incelemiştir. Puanlama destekli senaryolarda F1 skorunun 0,97 ila 0,99 seviyelerine çıktığı görülmüş; daha küçük parametreli Phi-3 modelinin Llama-2'ye göre %26 daha hızlı eğitildiği

ve çıkarım gecikmesini belirgin biçimde düşürdüğü raporlanmıştır. Bu çalışmalar Türkçe metinlerde derin öğrenme modellerinin başarısını göstermiş olsa da deneylerin tamamı merkezi veri mimarileriyle sınırlı kalmıştır.

Veri gizliliği düzenlemeleri ve kurumsal veri paylaşım engelleri, dağıtık FL modellerinin sahte haber tespitine uyarlanmasını hızlandırmıştır. Arunachalam & Razzaq (2024), beş açık veri kümesinde CNN, LSTM ve BERT modellerini farklı kelime gömme teknikleri ile federe ortamda test etmiş; 3 istemcili ve 3 epokluk yapının %98,89 doğruluğa ulaştığını göstermiştir. Pillai & Hu (2024), 44.877 haber içeren veri kümesi üzerinde 4 istemci ve 5 epok ile FedAvg tabanlı iki katmanlı tam bağlantılı bir YSA eğitmiş; federe modelin %99,06 doğruluk elde ederek merkezi modelin %99,14 başarımına neredeyse sıfır kayıpla ulaştığını göstermiştir. Machová vd. (2024), 13.317 veriden oluşan Slovakça COVID-19 haberleri üzerinde CNN, CNN+LSTM ve çok katmanlı LSTM mimarilerini 3 istemcili FL altında incelemiş; federe CNN modelinin %96 doğruluk ile merkezi modelin %95'lik başarısının dahi önüne geçtiğini, verilerin yerelde tutulmasının doğruluğu zedelemediğini ortaya koymuştur. Chaudhuri vd. (2025), Facebook üzerindeki sahte haberler ve 760.000'i aşkın kullanıcı yorumundan oluşan geniş bir veri kümesi üzerinde sahte içerikleri Karar Ağaçları, SVM, YSA'lar ve Rastgele Orman algoritmaları ile sınıflandırmıştır. Beş katlı çapraz doğrulama sonuçlarına göre, YSA %87,4, Rastgele Orman modeli ise %91,2 doğruluk başarımı sergilemiştir. Tian vd. (2025), 72.134 İngilizce haber içeren veri kümesi üzerinde Lojistik Regresyon, Rastgele Orman, Hafif Gradyan Artırmalı Makine (Light Gradient Boosting Machine, LightGBM) geleneksel makine öğrenmesi modelleri ve Hafif BERT (A Lite BERT, ALBERT) ile Kapılı Tekrarlayan Birim (Gated Recurrent Unit, GRU) derin öğrenme modellerinin yalan haber tespitindeki başarımını başlık, içerik ve başlık ile içerik birlikte olmak üzere üç farklı girdi senaryosunda kıyaslamıştır. ALBERT modeli başlık ile içerik birlikteyken 0,99 F1 skoru ve 1,00 Alıcı İşletim Karakteristiği Eğrisi Altındaki Alan (Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve, AUC-ROC) ile en yüksek başarımı gösterirken, GRU mimarisi de 0,97 F1 skoruna ulaşarak tüm geleneksel modelleri geride bırakmıştır. Mouratidis vd. (2025), dört farklı açık veri kümesi üzerinde Naïve Bayes, SVM, Rastgele Orman ve Passive Aggressive klasik makine öğrenmesi algoritmaları; CNN, LSTM ve BERT derin öğrenme mimarileri; TF-IDF, Döküman Vektörleştirme (Document to Vector, Doc2Vec) ve bağlamsal gömme teknikleriyle birlikte test edilmiştir. BERT modelinin 0,99 F1 skoru ve LSTM modelinin 0,98 F1 skoru ile klasik yöntemleri geride bıraktığı gösterilmiştir. Dang vd. (2026), sahte haber yayılımının tespitinde multimodal bir derin öğrenme mimarisi önermiş; üç farklı öznitelik çıkararak elde edilen vektörleri Çok Başlı Öz-Dikkat mekanizması aracılığıyla ağırlıklandırmış ve birleştirmiştir. 2 farklı veri kümesi üzerinde yürütülen çalışmada 10 katlı çapraz doğrulama sonuçlarına göre önerilen model ilk veri kümesinde %99,17 doğruluk ve 0,98 F1 skoruna; diğer veri kümesi üzerinde ise %96,85 doğruluk ve 0,95 F1-skoruna ulaşarak Sağlamlaştırılmış BERT (Robustly Optimized BERT Approach, RoBERTa) gibi büyük dil modelleri de dahil olmak üzere karşılaştırmalı yöntemleri geride bırakmıştır.

Literatür incelendiğinde; FL'nin sahte haber tespitinde gizlilik ve başarım dengesini başarıyla kurduğu görülmekle birlikte, mevcut FL çalışmalarının neredeyse tamamının İngilizce veya sınırlı Avrupa dilleri üzerinde yürütüldüğü anlaşılmaktadır.

Bu çalışma; Türkçe gibi sondan eklemeli ve morfolojik açıdan zengin bir dilde MLP, Metin Konvolüsyonel Sinir Ağı (Text Convolutional Neural Network, TextCNN) ve LSTM mimarilerinin FedAvg altındaki başarımını, yakınsama hızını ve farklı istemci/yerel epok senaryolarının iletişim maliyetine etkisini üç yönlü Varyans Analizi (Analysis of Variance, ANOVA) ile analiz ederek literatürdeki bu önemli boşluğu doldurmayı hedeflemektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Veri Kümesi ve Ön İşleme

Deneysel çalışmalarda Kulaksız & Coşkunçay (2025) tarafından HuggingFace üzerinde açık kaynak olarak paylaşılan TR-FakeNews veri kümesi kullanılmıştır. Veri kümesi; 2.845 sahte ve 2.481 gerçek haber olmak üzere toplam 5.326 Türkçe haber başlığı ve açıklamasından oluşmaktadır. Oran olarak %46,6 gerçek, %53,4 sahte haber ile dengeli bir dağılıma sahiptir. Veri kümesinin özellikleri Tablo 1'de gösterilmiştir. Federe ortamlarda F1 skorunun yalan haber tespitini doğrudan yansıtması amacıyla sahte haber sınıfı pozitif (1), gerçek haber sınıfı ise negatif (0) olarak etiketlenmiştir. Böylece raporlanan kesinlik, geri çağırma ve F1 metrikleri sahte haber tespit başarımı olarak yorumlanabilmektedir.

Ön işleme aşamasında, haber başlığı ve açıklama alanları birleştirildikten sonra metinler küçük harfe dönüştürülmüş, noktalama işaretlerinden arındırılmış ve Türkçeye özgü büyük-küçük harf dönüşümlerinde "I/ı" ve "İ/i" eşleşmeleri dikkate alınmıştır. 10.293 kelimelik sözlük yalnızca eğitim bölümünden türetilmiş ve en az iki kez geçen en sık yirmi bin parçacık ile sınırlandırılmıştır. Dolgu ve bilinmeyen sembolleri için iki özel parçacık ayrılmıştır. Her belge 64 parçacık uzunluğunda sabit boyutlu tamsayı dizisine kodlanmış; daha uzun belgeler kesilmiş, daha kısa olanlar sağdan dolgu ile tamamlanmıştır. Veri kümesi; sınıf dengesini her alt kümede koruyan tabakalı rastgele bölümleme ile eğitim (%70), doğrulama (%15) ve test (%15) kümelerine ayrılmıştır.

Tablo 1. TR-FakeNews veri kümesinin özellikleri

Özellik	**Değer**
Toplam kayıt sayısı	5.326
Gerçek haber	2.481 (%46,6)
Uydurma haber	2.845 (%53,4)
Alanlar	başlık, açıklama, etiket, kaynak
Kaynaklar	TRT haber ajandası, Teyit.org

2.2. Model Mimarileri

Federe ağ üzerinden aktarılacak model parametrelerinin iletişim maliyeti açısından adil karşılaştırmayı güvence altına almak amacıyla; üç farklı mimari yaklaşık bir milyon parametre bandında tasarlanmıştır. Üç mimari de 100 boyutlu, rastgele başlatılmış, eğitilebilir bir gömme katmanı içermektedir.

- **MLP Mimarisi:** Iyyer vd. (2015) tarafından önerilen Derin Ortalama Ağı tasarımını izlemekte olup, dolgu sembolleri maskelenerek alınan parçacık gömmelerinin ortalamasının; 64 ve 32 gizli birimden oluşan iki tam bağlantılı katman, Doğrultulmuş Doğrusal Birim (Rectified Linear Unit, ReLU) aktivasyon işlevi ve 0,3 olasılıklı seyreltme katmanı aracılığıyla işlenmesine dayanmaktadır. Toplam 1.037.877 parametreden oluşmaktadır.
- **TextCNN Mimarisi:** Kim (2014) tarafından önerilen cümle sınıflandırma modelini temel almakta ve üç, dört ile beş parçacık uzunluğunda çekirdeklere sahip paralel tek boyutlu evrişim filtreleri aracılığıyla yerel n-gram örüntülerini çıkarmaktadır. Her filtre bankası 32 filtre içermekte; çıktılar ReLU etkinleştirme ve global maksimum havuzlama işleminden geçirilerek tek bir çıkış logitine dönüştürülmektedir. Toplam 1.067.893 parametreden oluşmaktadır.
- **LSTM Mimarisi:** Hochreiter & Schmidhuber (1997) tarafından önerilen yinelemeli sinir ağı temeline dayanmakta ve gizli durum boyutu 64 olan tek katmanlı bir LSTM hücresinden oluşmaktadır. Dizinin sonundaki dolgu sembollerinin son gizli durumu bozmasını engellemek amacıyla; girdi dizisi PyTorch kütüphanesinin pack_padded_sequence yardımcı yordamı

aracılığıyla paketlenmiş ve LSTM yalnızca her örnekteki geçerli parçacıklar üzerinde ilerletilmiştir. Toplam 1.071.861 parametreden oluşmaktadır.

2.3. FL Kurulumu

İstemciler arası veri dağıtımı, her istemcide pozitif ve negatif sınıf oranlarının korunduğu Bağımsız ve Özdeş Dağılımlı (Independent and Identically Distributed, IID) tabakalı bölümleme yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. İstemciler yerel modellerini Adam optimizasyon algoritması öğrenme oranı 0,001 olacak şekilde ve ikili çapraz entropi yitim fonksiyonu ile eğitmiştir. Küresel modelin güncellenmesi; her istemcinin yerel örneklem sayısıyla orantılı ağırlıklı ortalama alma yoluyla, standart FedAvg algoritması kapsamında gerçekleştirilmiştir. İletişim turu sayısı 15 ile sınırlandırılmış ve her iletişim turunda tüm istemcilerin model eğitimine katkı sağlaması sağlanmıştır. Test aşamasında kullanılan sınıflandırma eşiği ise doğrulama kümesi üzerinde elde edilen kesinlik-geri çağırma eğrisi dikkate alınarak, F1 skorunu en yüksek değere ulaştıran eşik değeri olarak belirlenmiştir.

2.4. Deneysel Düzenek ve İstatistiksel Analiz

Deneysel çalışma, model mimarisi, istemci sayısı ve yerel epok sayısı olmak üzere üç faktör üzerinden tasarlanmıştır. Bu kapsamda MLP, TextCNN ve LSTM model mimarileri; 2, 3 ve 4 istemci sayıları ve 1, 3 ve 5 yerel epok sayıları kullanılarak farklı deney koşulları oluşturulmuştur. 27 federe yapılandırmanın her biri; 42, 123 ve 2024 olmak üzere üç farklı rastgele tohum altında yinelenerek toplam 81 federe deney tamamlanmıştır. Buna ek olarak; üç mimarinin aynı üç tohum altında birleştirilmiş eğitim bölümü üzerinde eğitildiği dokuz merkezi referans deney yürütülmüştür. Merkezi referans modeller en fazla 15 epok boyunca eğitilmiş; doğrulama F1 skorunda beş ardışık epok iyileşme sağlanamadığında erken durdurma kuralı uygulanmıştır. Tüm deneyler Google Colab ortamında, NVIDIA A100 grafik işleme birimi üzerinde yürütülmüştür.

Modellerin kestirim başarımı test kümesi üzerinde doğruluk, kesinlik, geri çağırma ve F1 skoru ölçütleri ile değerlendirilmiştir. Pozitif sınıfın sahte habere karşılık geldiği ikili sınıflandırma görevinde; doğru pozitif (TP), doğru negatif (TN), yanlış pozitif (FP) ve yanlış negatif (FN) sayıları üzerinden Denklem (1)'de verilen doğruluk, Denklem (2)'de verilen kesinlik, Denklem (3)'te verilen duyarlılık ve Denklem (4)'te verilen F1 skoru ile hesaplanmıştır.

$$Doğruluk = (TP + TN)/(TP + TN + FP + FN) \quad (1)$$

$$Kesinlik\ (K) = TP/(TP + FP) \quad (2)$$

$$Duyarlılık\ (D) = TP/(TP + FN) \quad (3)$$

$$F1\ skoru = 2 \times (K \times D)/(K + D) \quad (4)$$

Üç deneysel faktörün test F1 skoru üzerindeki etkisini biçimsel olarak değerlendirmek amacıyla; 81 federe gözlem üzerinde üç yönlü ANOVA uygulanmıştır. ANOVA modeli; üç ana etkiyi, üç ikili etkileşim terimini ve üçlü etkileşim terimini içermektedir. Her federe koşum için tahmini iletişim maliyeti; iletişim turu sayısı (R), katılımcı istemci sayısı (K) ve model parametrelerinin seri hale getirilmiş boyutunun (S) çarpımı üzerinden $C = 2 \times R \times K \times S$ bağıntısı aracılığıyla hesaplanmıştır. İki katsayısı; her turda hem global modelin istemcilere indirilmesini hem de güncellenmiş yerel modelin sunucuya yüklenmesini yansıtmaktadır.

ANOVA modelinin uyumlanmasının ardından; artıkların normal dağılımı Shapiro–Wilk normallik testi ile sınanmış ve parametrik yöntemin uygulanabilirliğine engel teşkil edecek bir sapma gözlenmemiştir.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

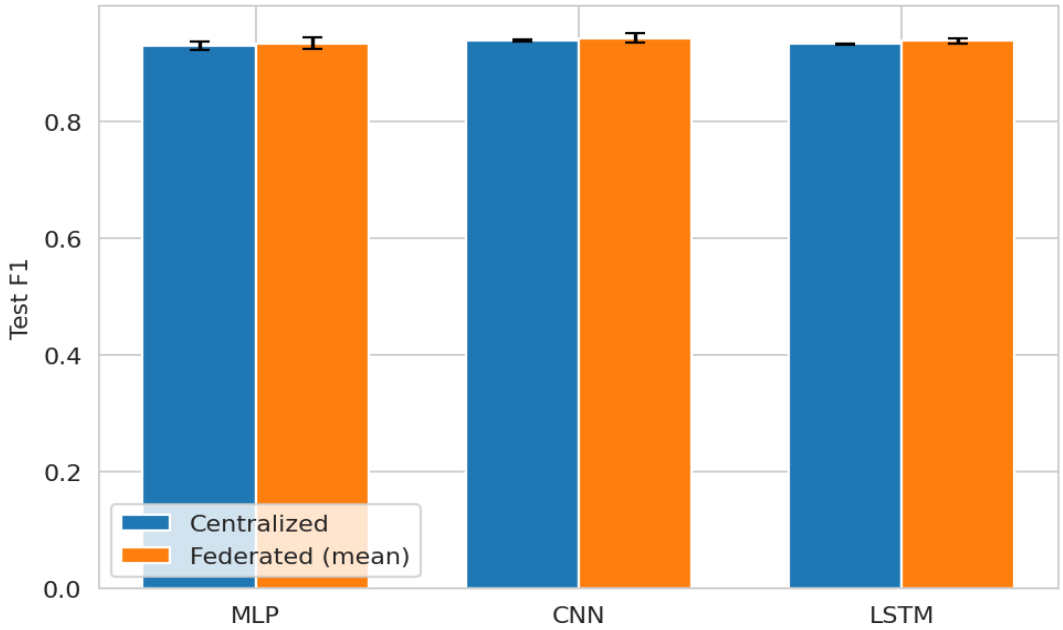
3.1. Merkezi ve Federe Eğitim Karşılaştırması

Tüm verinin tek bir sunucuda toplanarak eğitildiği merkezi senaryo, FL'nin başarısını ölçmek için referans noktası olarak kabul edilmiştir. Tablo 2 ve Şekil 1'de görüldüğü üzere, FL modelleri merkezi modellere kıyasla başarım kaybı yaşamamış, aksine genelleme kabiliyetlerini artırmıştır. Her üç mimari için de federe eğitim ile merkezi eğitim arasındaki ortalama test F1 skoru farkı 0,4–0,6 yüzde puan bandında kalmıştır. MLP mimarisinde merkezi eğitim 0,9299 ± 0,0080 ortalama F1 skoru üretirken, federe eğitim 0,9341 ± 0,0100 skoruna ulaşmıştır. TextCNN mimarisinde merkezi 0,9387 ± 0,0012 skoru karşısında federe 0,9432 ± 0,0075 skoru; LSTM mimarisinde ise merkezi 0,9329 ± 0,0009 skoru karşısında federe 0,9384 ± 0,0041 skoru elde edilmiştir. Her üç mimari için de federe ortalama; merkezi ortalamanın bir standart sapması içinde yer almakta olup, federe yaklaşımın merkezi eğitim ile istatistiksel olarak karşılaştırılabilir sonuçlar ürettiği görülmektedir.

Tablo 2. Merkezi ve federe eğitimde üç mimarinin test kümesi başarımı (doğruluk ve F1 skoru için ortalama ± standart sapma)

Model	Merkezi Doğruluk	Merkezi F1	Federe Doğruluk	Federe F1	ΔF1
MLP	0,9238 ± 0,0075	0,9299 ± 0,0080	0,9284 ± 0,0097	0,9341 ± 0,0100	+0,0042
TextCNN	**0,9333 ± 0,0019**	**0,9387 ± 0,0012**	**0,9378 ± 0,0082**	**0,9432 ± 0,0075**	+0,0045
LSTM	0,9271 ± 0,0007	0,9329 ± 0,0009	0,9326 ± 0,0046	0,9384 ± 0,0041	+0,0055

Merkezi değerler üç farklı rastgele tohum üzerinden hesaplanmıştır (n = 3). Federe değerler ise her mimari için 27 yapılandırma × 3 tohum = 81 koşumun test kümesi başarımı üzerinden hesaplanmıştır (n = 81). ΔF1 = Federe F1 (ort.) − Merkezi F1 (ort.).



Şekil 1. Üç mimari için merkezi ve federe eğitimde ortalama test F1 karşılaştırması ve hata çubukları ile standart sapma

3.2. Hiperparametre Etkileri ve İstatistiksel Analiz

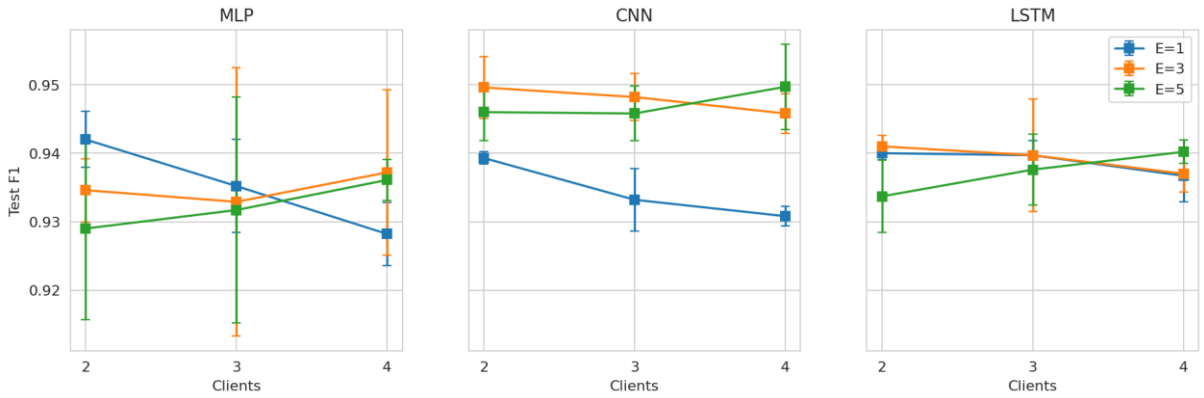
Model mimarisi, istemci sayısı ve yerel epok sayısının test F1 skoru üzerindeki etkilerini istatistiksel olarak sınamak amacıyla üç yönlü ANOVA testi uygulanmıştır. Sonuçlar Tablo 3'te özetlenmiştir.

- **Mimarinin Etkisi:** Model mimarisi faktörünün ana etkisi yüksek düzeyde anlamlı bulunmuştur *(F(2,54) = 10,87; p = 0,00011)*. TextCNN mimarisi; tüm istemci sayıları ve yerel epok değerleri üzerinden ortalanmış 0,9432 ortalama test F1 skoru ile en yüksek değeri üretmiştir. LSTM mimarisi 0,9384 ve MLP mimarisi 0,9341 ortalama değerlerine ulaşmıştır. Merkezi senaryoda da gözlemlenen TextCNN > LSTM > MLP sıralaması, federe eğitim altında korunmuştur.
- **İstemci Sayısı Etkisi:** IID bölümleme altında istemci sayısının ana etkisi istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır *(F(2,54) = 0,34; p = 0,71447)*. Bu bulgu; IID kurgusu altında istemci sayısının artırılmasının eğitim kümesinin toplam istatistiksel içeriğini değiştirmeyip yalnızca yeniden dağıttığı gerçeğiyle tutarlıdır. Üç mimari için federe eğitimde istemci sayısının test F1 skoruna etkisi Şekil 2'de gösterilmiştir.
- **Epok Sayısı Etkisi:** Yerel epok sayısının ana etkisi sınır değerde anlamlıdır *(F(2,54) = 2,79; p = 0,07040)*; buna karşılık model mimarisi ile yerel epok sayısı arasındaki etkileşim etkisi anlamlı bulunmuştur *(F(4,54) = 3,97; p = 0,00673)*. Söz konusu etkileşim; yerel epok sayısının etkisinin mimariye göre farklılaştığını göstermektedir. TextCNN mimarisi için ortalama test F1 skoru; bir yerel epokta 0,9344 iken üç yerel epokta 0,9479 değerine yükselmiş ve beş yerel epokta 0,9472 düzeyinde korunmuştur. LSTM mimarisi için üç yerel epok sayısı arasındaki değişim 0,002 puandan daha küçüktür, sırasıyla 0,9388; 0,9393 ve 0,9371. MLP mimarisi de benzer biçimde yerel epok sayısına duyarsız bir yanıt sergilemiştir, sırasıyla 0,9351; 0,9349 ve 0,9323. En yüksek bireysel federe başarım; TextCNN mimarisi, dört istemci ve beş yerel epok yapılandırmasında 0,9497 F1 skoru olarak ölçülmüştür. Üç mimari için federe eğitimde epok sayısının test F1 skoruna etkisi Şekil 3'te gösterilmiştir.

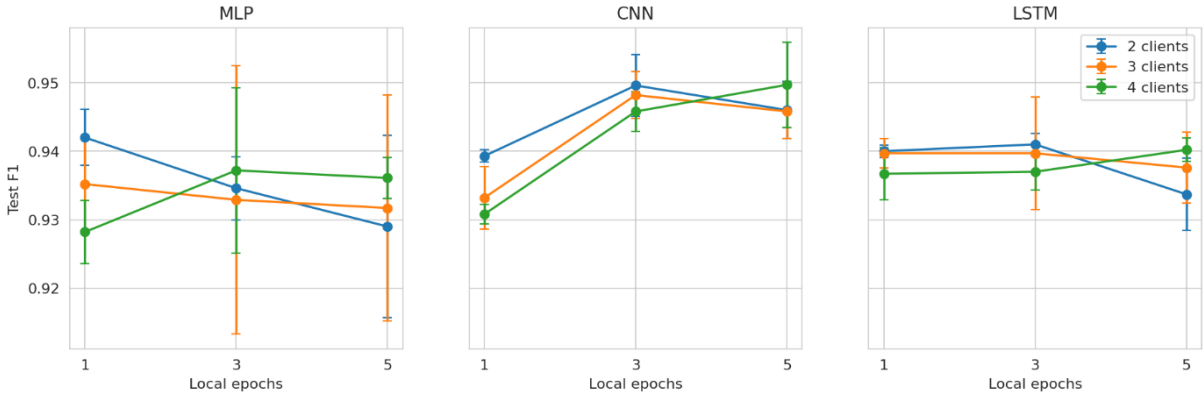
Tablo 3. Test F1 skoru üzerinde yürütülen üç yönlü ANOVA sonuçları (n = 81 federe koşum)

Varyans kaynağı	Kareler toplamı	df	F	p
Model	0,00111	2	10,870	0,00011 ***
İstemci sayısı	0,00003	2	0,338	0,71447
Yerel epok	0,00029	2	2,788	0,07040†
Model × İstemci sayısı	0,00003	4	0,165	0,95540
Model × Yerel epok	0,00081	4	3,974	0,00673 **
İstemci sayısı × Yerel epok	0,00046	4	2,238	0,07693†
Model × İstemci sayısı × Yerel epok	0,00014	8	0,335	0,94854
Artık (Residual)	0,00277	54	—	—

*Anlamlılık düzeyleri: *** $p < 0,001$; ** $p < 0,01$; † $p < 0,1$. df: serbestlik derecesi. Analizde sabit etkili üç yönlü ANOVA modeli kullanılmış; üç ana etki, üç ikili etkileşim ve üçlü etkileşim terimi birlikte sınanmıştır.*



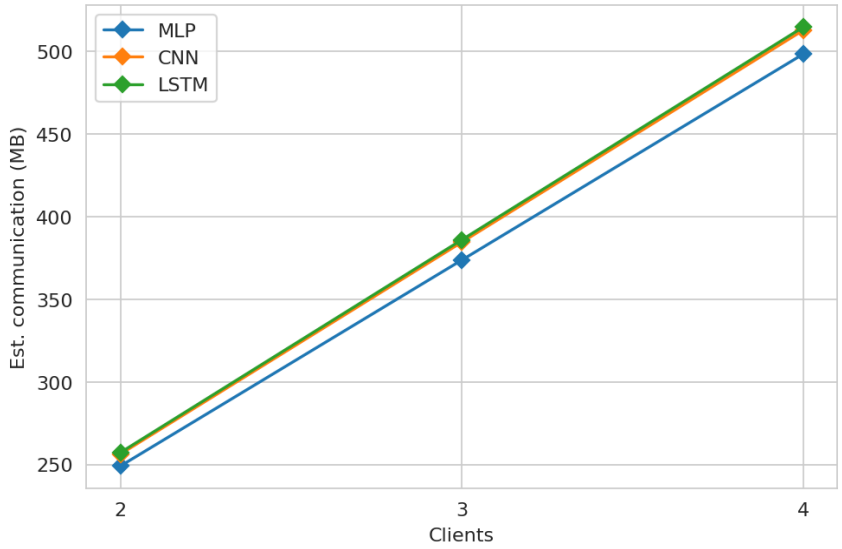
Şekil 2. Üç mimari için federe eğitimde istemci sayısının test F1 skoruna etkisi



Şekil 3. Üç mimari için federe eğitimde epok sayısının test F1 skoruna etkisi

3.3. İletişim Maliyeti Analizi

FL'de model başarımının yanı sıra ağ üzerinde aktarılan veri hacmi de önemli bir tasarım zorluğudur. Her üç mimari yaklaşık bir milyon parametreye sahip olduğundan; iletişim maliyetleri benzer düzeyde çıkmıştır. On beş iletişim turu boyunca; iki istemci içeren yapılandırmalarda toplam aktarım hacmi yaklaşık 256 megabayt, üç istemci içeren yapılandırmalarda yaklaşık 384 megabayt ve dört istemci içeren yapılandırmalarda yaklaşık 512 megabayt olarak hesaplanmıştır. İstemci sayısının IID bölümleme altında test F1 skoru üzerinde anlamlı bir etki yaratmadığı dikkate alındığında; benzer kurumsal veri dağılımlarına sahip senaryolarda iletişim bant genişliğini korumak amacıyla istemci sayısının gereksiz yere artırılmaması uygun görülmektedir. Toplam duvar saati eğitim süresi yerel epok sayısıyla yaklaşık doğrusal biçimde artmakta; TextCNN mimarisi için yapılandırma başına ortalama süre bir yerel epokta yaklaşık 6,7 saniyeden beş yerel epokta yaklaşık 29,2 saniyeye yükselmektedir.



Şekil 4. İstemci sayısına göre tahmini iletişim hacmi (megabayt)

4. SONUÇ

Bu çalışma, dil yapısı ve morfolojisi gereği karmaşık bir işleyişe sahip olan Türkçe haber metinlerinde, yalan haber tespit sistemlerinin kurumsal veri mahremiyeti korunarak da yüksek performansla geliştirilebileceğini göstermiştir. Elde edilen bulgular, TextCNN gibi kısa metin hiyerarşilerinde yerel kelime dizilişlerini güçlü bir şekilde yakalayan modellerin, federe ortamlara yüksek uyum sağladığını göstermektedir. Deneyler sonucunda FedAvg FL kurgusunun, merkezi veri havuzlarında uygulanan eğitim performansının gerisinde kalmadığı; federe ve merkezi eğitim arasında istatistiksel olarak karşılaştırılabilir sonuçlar elde edildiği belirlenmiştir. Bu çalışmada; Türkçe yalan haber tespiti görevinde FL'nin uygulanabilirliği; MLP, TextCNN ve LSTM mimarilerinin, iki ile dört istemci ve bir ile beş yerel epok kombinasyonlarında, üç ayrı rastgele tohum altında yürütülmesiyle elde edilen 81 federe deney ve dokuz merkezi referans deneyin sonuçları üzerinden değerlendirilmiştir. Üç yönlü varyans analizi sonuçları; model mimarisinin test F1 skoru üzerindeki ana etkisinin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu ($F(2,54) = 10,87$; $p < 0,001$) ve model mimarisi ile yerel epok sayısı arasında anlamlı bir etkileşim etkisi bulunduğunu ($F(4,54) = 3,97$; $p = 0,007$) ortaya koymuştur. İstemci sayısının ana etkisi IID bölümleme altında anlamlı bulunmamıştır ($p = 0,714$). TextCNN mimarisi hem en yüksek ortalama test F1 skorunu (0,9432) hem de dört istemci ve beş yerel epok yapılandırmasında 0,9497 skoru ile en yüksek bireysel başarımı elde etmiştir. Üç mimari için de federe eğitim ile merkezi eğitim arasındaki ortalama farkın 0,4–0,6 yüzde puan bandında kaldığı; federe yaklaşımın mevcut deneysel koşullar altında merkezi eğitim ile istatistiksel olarak karşılaştırılabilir sonuçlar ürettiği gösterilmiştir.

Çalışmanın bazı sınırlılıkları bulunmaktadır. İlk olarak; istemci bölümlemesi bağımsız ve özdeş dağılım varsayımı altında ve her istemcide sınıf dengesi korunarak oluşturulmuş olup, gerçekçi federe dağıtımlarda karşılaşılan istatistiksel heterojenliği tam olarak yansıtmamaktadır. İkinci olarak; federe optimizasyon prosedürü standart FedAvg algoritması ile sınırlandırılmış; istemciler arası heterojenlik koşulları için önerilmiş alternatif federe optimizasyon algoritmaları değerlendirilmemiştir. Üçüncü olarak; gömme katmanı rastgele biçimde başlatılmış olup, önceden eğitilmiş Türkçe sözcük gömmeleri veya dil modelleri değerlendirilmemiştir. Dördüncü olarak; her iletişim turunda tüm istemcilerin katkıda bulunduğu tam katılım varsayılmış olup, kısmi katılım senaryolarının etkisi incelenmemiştir.

Gelecek çalışmalarda; IID bölümleme senaryolarının ötesine geçilerek kurumlar arası etiket ve veri dengesizliklerinin bulunduğu Dirichlet dağılımı tabanlı bağımsız ve özdeş olmayan senaryoların test edilmesi, önceden eğitilmiş Türkçe dil modellerinin federe ortamlardaki uygulanabilirliğinin araştırılması ve diferansiyel gizlilik ile güvenli toplama gibi mahremiyeti koruyan mekanizmaların federe eğitim çerçevesine entegre edilmesi hedeflenmektedir.

KAYNAKÇA

Akpinar, K. O., Akpinar, M., & Pavlovskaya, O. (2025). Attention based neural network for cross domain fake news detection in Turkish language. *Scientific Reports*, *16*(1), 2092-. https://doi.org/10.1038/s41598-025-31788-3

Arunachalam, R., & Razzaq, A. (2024). *Enhancing fake news detection with federated learning and word embedding*. National College of Ireland.

Chaudhuri, N., Gupta, G., & Popovič, A. (2025). Do you believe it? Examining user engagement with fake news on social media platforms. *Technological Forecasting and Social Change*, *212*, 123950. https://doi.org/10.1016/J.TECHFORE.2024.123950

Dal Forno, A. J., Richetti, G. P., & Knaesel, V. H. (2025). Fake news detection algorithms – A systematic literature review. *Data & Knowledge Engineering*, *158*, 102441. https://doi.org/10.1016/J.DATAK.2025.102441

Dang, J., Sun, Y., & Yu, C. (2026). Fusing non-textual cues with classical NLP for enhanced multimodal fake news spread detection. *Scientific Reports*, *16*(1), 16193-. https://doi.org/10.1038/s41598-026-45735-3

Fidan, O. A., Ozturk, E., & Kantarci, H. (2025). Fake news detection with credibility scoring on Turkish twitter data. *IEEE Access*, *13*, 134943-134954. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3594010

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

Iyyer, M., Manjunatha, V., Boyd-Graber, J., & Daumé, H. (2015). Deep unordered composition rivals syntactic methods for text classification. *Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics and the 7th International Joint Conference on Natural Language Processing of the Asian Federation of Natural Language Processing*, *1*, 1681-1691. https://doi.org/10.3115/V1/P15-1162

Khan, Y., Sánchez, D., Domingo-Ferrer, J., Cat, J. D., & David Sánchez, ·. (2024). Federated learning-based natural language processing: a systematic literature review. *Artificial Intelligence Review*, *57*(12), 320-. https://doi.org/10.1007/S10462-024-10970-5

Kim, Y. (2014). Convolutional neural networks for sentence classification. *Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing*, 1746-1751. https://doi.org/10.3115/V1/D14-1181

Koru, G. K., & Uluyol, C. (2024). Detection of Turkish fake news from tweets with BERT models. *IEEE Access*, *12*, 14918-14931. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3354165

Kulaksız, İ., & Coşkunçay, A. (2025a). Fake news detection on mainstream media using natural language processing. *Black Sea Journal of Engineering and Science*, *8*(1), 214-224. https://doi.org/10.34248/BSENGINEERING.1527551

Kulaksız, İ., & Coşkunçay, A. (2025b). *TR-FakeNews [Veri Kümesi]*. https://huggingface.co/datasets/isakulaksiz/turkish-fake-news-detection

Kuntur, S., Wróblewska, A., Ganzha, M., Paprzycki, M., & Sachdeva, S. (2026). Fake news detection: It's all in the data! *Applied Sciences*, *16*(3), 1585. https://doi.org/10.3390/APP16031585

Machová, K., Mach, M., & Balara, V. (2024). Federated learning in the detection of fake news

using deep learning as a basic method. *Sensors*, *24*(11), 3590. https://doi.org/10.3390/S24113590

McMahan, B., Moore, E., Ramage, D., Hampson, S., & Agüera y Arcas, B. (2017). Communication-Efficient learning of deep networks from decentralized data. *International Conference on Artificial Intelligence and Statistics*.

Mouratidis, D., Kanavos, A., & Kermanidis, K. (2025). From misinformation to insight: Machine learning strategies for fake news detection. *Information*, *16*(3), 189. https://doi.org/10.3390/INFO16030189

Pillai, S. E. V. S., & Hu, W. C. (2024). Federated learning for fake news detection and data privacy preservation. *Cyber Awareness and Research Symposium*. https://doi.org/10.1109/CARS61786.2024.10778735

Surjatmodjo, D., Unde, A. A., Cangara, H., & Sonni, A. F. (2024). Information pandemic: A critical review of disinformation spread on social media and its implications for state resilience. *Social Sciences*, *13*(8), 418. https://doi.org/10.3390/SOCSCI13080418

Tian, Y., Xu, S., Cao, Y., Wang, Z., & Wei, Z. (2025). An empirical comparison of machine learning and deep learning models for automated fake news detection. *Mathematics*, *13*(13), 2086. https://doi.org/10.3390/MATH13132086

Wang, R., Zhang, Y., Wan, W., Chen, M., & Guizani, M. (2024). Distributed rumor source detection via boosted federated learning. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, *36*(11), 5986-6001. https://doi.org/10.1109/TKDE.2024.3390238

TÜRKİYE'DE PV DESTEKLİ DENİZ SUYU DESALİNASYONU: KARŞILAŞTIRMALI ENERJİ, SU VE EKSERJİ DEĞERLENDİRMESİ

Dr. Öğr. Üyesi Serpil CELIK TOKER
Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Department of Mechanical Engineering, 32040 Merkez, Isparta
ORCID ID: 0000-0003-3572-7907
Doç. Dr. Gamze SOYTURK
Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Department of Mechanical Engineering, 32040 Merkez, Isparta
ORCID ID: 0000-0001-7191-8765
Prof. Dr. Onder KIZILKAN
Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Department of Mechanical Engineering, 32040 Merkez, Isparta
ORCID ID: 0000-0002-4865-6135

ÖZET
Bu çalışmada, Türkiye'nin beş kıyı şehrinde tatlı su üretimi amacıyla fotovoltaik (PV) enerji ile çalışan deniz suyu ters ozmoz (SWRO) sisteminin performansı incelenmiştir. Sistem, 100.1 kWp kurulu güce sahip bir PV panel dizisi ile enerji geri kazanım türbini içeren bir RO ünitesinden oluşmaktadır. PV panellerinden üretilen elektrik enerjisi, desalinasyon işlemi için gerekli yüksek basınç pompasının çalıştırılmasında kullanılmaktadır. RO ünitesinden çıkan basınçlı konsantre akımındaki enerjinin bir kısmı türbin aracılığıyla geri kazanılarak pompa tahrik sistemine aktarılmakta ve böylece sistemin net elektrik enerjisi ihtiyacı azaltılmaktadır. Farklı kıyı ve iklim koşullarını temsil etmek üzere Antalya, İzmir, İstanbul, Sinop ve Trabzon seçilmiştir. Analizde aylık güneş ışınımı, güneşlenme süresi, ortam sıcaklığı, deniz suyu sıcaklığı ve tuzluluk değerleri dikkate alınmıştır. Sistem MATLAB ortamında modellenmiş ve performansı elektrik üretimi, tatlı su üretimi, özgül enerji tüketimi ve ekserji verimi açısından değerlendirilmiştir. Yıllık PV elektrik üretimi Sinop'ta 106.6 MWh ile Antalya'da 133.4 MWh arasında değişmektedir. Buna karşın, en yüksek yıllık tatlı su üretimi 51,712 m³/yıl ile Sinop'ta elde edilirken, en düşük üretim 44,014 m³/yıl ile İzmir'de gerçekleşmiştir. Net özgül enerji tüketimi 2.06-2.86 kWh/m³ arasında değişmekte ve enerji geri kazanım türbini pompa gücünün yaklaşık %36.5'ini karşılamaktadır. Elde edilen sonuçlar, PV destekli SWRO sistemlerinde tatlı su üretiminin yalnızca güneş enerjisi potansiyeline bağlı olmadığını, deniz suyu tuzluluğu ve buna bağlı ozmotik basıncın da sistem performansı üzerinde belirleyici bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.
Anahtar kelimeler: Fotovoltaik, deniz suyu ters ozmoz, güneş enerjili desalinasyon, ekserji analizi, tatlı su üretimi

PV-DRIVEN SEAWATER DESALINATION IN TÜRKIYE: A COMPARATIVE ENERGY, WATER AND EXERGY ASSESSMENT

ABSTRACT
This study investigates the performance of a photovoltaic (PV)-powered seawater reverse osmosis (SWRO) system for freshwater production in five coastal cities of Türkiye. The system consists of a 100.1 kWp PV array coupled to an RO unit equipped with a brine recovery turbine. Electricity generated by the PV array is used to operate the high-pressure pump required for the desalination process. The energy available in the pressurized brine is partly recovered by the

turbine and returned to the pump drive, reducing the net electricity demand of the RO unit. Antalya, Izmir, Istanbul, Sinop, and Trabzon were selected to represent different coastal and climatic conditions. Monthly solar radiation, sunshine duration, ambient temperature, seawater temperature, and salinity were considered in the analysis. The system was modeled in MATLAB, and its performance was evaluated in terms of electricity generation, freshwater production, specific energy consumption, and exergy efficiency. Annual PV electricity production varies between 106.6 MWh in Sinop and 133.4 MWh in Antalya. However, the highest freshwater production is obtained in Sinop, reaching 51,712 m^3/year, while the lowest value of 44,014 m^3/year is found for Izmir. The net specific energy consumption varies from 2.06 to 2.86 kWh/m^3, and the recovery turbine provides approximately 36.5% of the pump power. The comparison among the selected cities shows that freshwater production is strongly affected by seawater salinity and the resulting osmotic pressure, rather than being determined solely by the available solar energy.
Keywords: Photovoltaic, seawater reverse osmosis, solar desalination, exergy analysis, freshwater production

1. INTRODUCTION

The ever-growing requirement for energy in the world continues to be satisfied predominantly through the use of fossil fuels, causing problems associated with emissions of greenhouses gases, environmental destruction, and exhaustion of the existing energy sources [1]. This situation has resulted in an increased rate of development of renewable energy technologies. Among various forms of renewable energy, solar power has drawn much interest due to its abundance, clean character, and ability to produce electricity and heat energy [2]. Photovoltaics can serve as a method of converting solar energy into electricity in a direct way.

In addition to the requirement of energy, another significant issue faced by people in several places in the world today is access to water sources. With the growth in population, development of cities, climate change, and increased agricultural and industrial activities, there has been a tremendous amount of stress on existing sources of fresh water [3]. The issue becomes more critical for those places that are located in the dry coastal areas, where the water from the sea can be considered an alternate source of water. The technique of desalination can help satisfy the needs for fresh water [4]. However, the high-pressure pump required to overcome the osmotic pressure of seawater accounts for a substantial part of the electricity demand of an RO plant. Supplying this electricity from renewable sources and recovering part of the energy available in the pressurized brine can reduce the external energy requirement of the desalination process.

Solar-powered RO systems have consequently received increasing attention. Alam et al. [5] investigated a solar-powered RO system integrated with vacuum membrane distillation for further treatment of the RO brine. Their results showed a specific electrical energy consumption of 4.61–5.11 kWh/m^3 for the RO process, while the combined RO-vacuum membrane distillation configuration provided an overall water recovery of 54.7–61.9%. Abdelgaied et al. [6] proposed a PV-powered hybrid humidification–dehumidification and RO system incorporating thermal energy recovery and solar collectors. The system produced up to 192–200 L/h of freshwater, with a specific power consumption of 1.22–1.24 kWh/m^3. More recently, Abobeah et al. [7] modeled a PV-powered RO-humidification–dehumidification (HDH) system in MATLAB/Simulink and reused the RO brine as the feed of the HDH unit. The proposed integration increased total freshwater recovery by up to 220% and reduced energy consumption

by 35% compared with standalone operation.

From a broader renewable-energy perspective, Delgado-Torres et al. [8] studied an off-grid SWRO plant powered by complementary solar PV and tidal energy. The integration of tidal power increased the operating time of the desalination plant at nominal capacity by approximately 1.8-2.8 times compared with the PV-only configuration. Second-law performance has also been considered in solar-driven desalination studies. Córdoba et al. [9] examined the performance of various solar powered batch RO systems and found that the selection of the solar energy conversion technique is of great importance in terms of the second law performance. In the same way Li et al. [10] performed energy and exergy analyses on PV-RO and PV/thermally driven RO-TD process.
While previous works have proven the feasibility of desalinating water through a RO plant powered by renewable energies, the efficiency of such PV-RO plant is not solely determined by solar energy availability but also by the conditions of the seawater in question. Specifically, the concentration of seawater impacts the osmotic pressure and hence determines the pressure and electricity needed for the RO process. The temperature of seawater also impacts the permeability of the membrane and hence the quantity of freshwater produced and energy used.

Türkiye provides a good geographic region for comparison due to the fact that it is surrounded by four seas, namely the Mediterranean Sea, Aegean Sea, Marmara Sea, and the Black Sea, having varying characteristics of salinity and temperature. Moreover, there is a wide variation in the availability of solar energy between the different coastal areas of Turkey. Thus, an increase in the production of solar electricity does not always translate into an increase in the production of fresh water, since the energy requirement of the RO system also depends on the characteristics of seawater.

In the current research, energy, water, and exergy performance of PV powered SWRO system with a brine recovery turbine is analyzed for five Turkish coastal cities of Antalya, Izmir, Istanbul, Sinop, and Trabzon. The same configuration of the system is employed for each city in order to create the basis for comparison. Parameters of solar radiation, sunshine hours, air temperature, seawater temperature, and salinity are taken into account in the calculations. Electrical power produced by the PV panels is used to drive the high-pressure pump of the reverse osmosis plant, whereas the energy of the brine is recaptured in the pump drive. System performance is analyzed based on PV electrical power production, water production, specific energy consumption, operation conditions of the RO plant, and exergy performance of the system.

2. SYSTEM DESCRIPTION

The configuration of the proposed PV-driven SWRO system is presented in Fig. 1. The electricity generated by the PV array is used to operate the high-pressure pump required for the RO process. Seawater enters the system at state 1 and is pressurized by the high-pressure pump (Pump). The pressurized seawater leaves the pump at state 2 and enters the RO unit, where it is separated into a concentrated brine stream and freshwater permeate. The high-pressure brine leaves the RO unit at state 3 and enters the recovery turbine (Turbine), where part of its pressure energy is recovered. After expansion, the brine leaves the turbine at state 4 and is discharged back to the sea. The freshwater permeate leaves the RO unit at state 5 and enters the purifier unit. After purification, the product water leaves the system at state 6. The system is powered by a 100.1 kWp PV array consisting of 220 monocrystalline modules. Each module has a rated

capacity of 455 W and an efficiency of 23.3% under standard test conditions, resulting in a total PV area of 429.6 m². No battery storage is employed. The electricity generated by the PV array is supplied to the high-pressure pump, while the power recovered by the turbine is also used to support the pump operation. The RO unit consists of five pressure vessels, each containing seven 8-inch spiral-wound SWRO membrane elements, corresponding to a total membrane area of 1302 m².

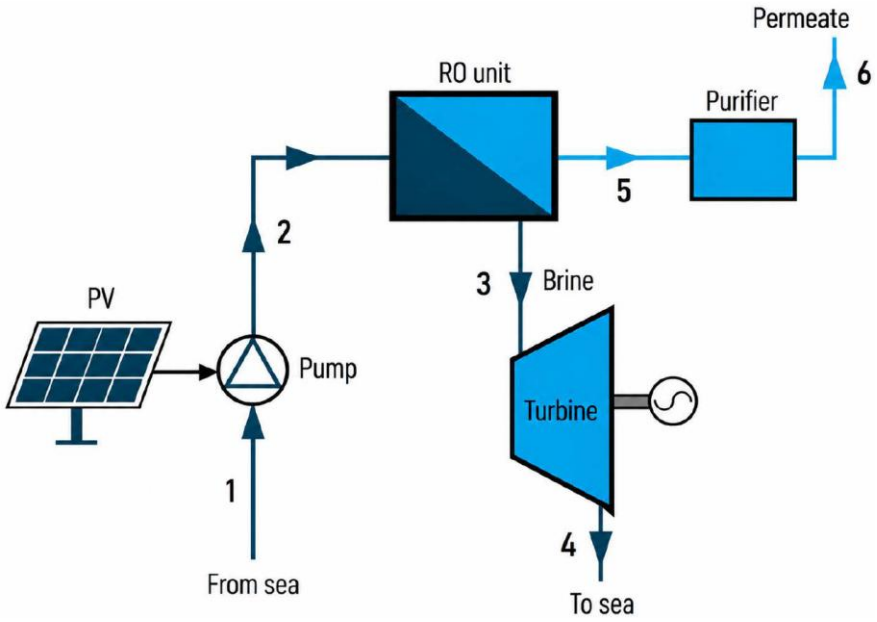


Fig. 1. Schematic of the PV-driven SWRO system

3. METHODOLOGY

The performance of the PV-driven SWRO system was evaluated for Antalya, Izmir, Istanbul, Sinop, and Trabzon using location-specific climatic and seawater conditions. Long-term monthly mean daily global solar radiation on a horizontal surface (H) and daily sunshine duration were obtained from the Solar Energy Potential Atlas (GEPA) of the Ministry of Energy and Natural Resources, while monthly mean ambient temperature (T_{amb}) data were obtained from the Turkish State Meteorological Service. The monthly variations in ambient temperature, global solar radiation, and sunshine duration for the selected cities are presented in Fig. 2.

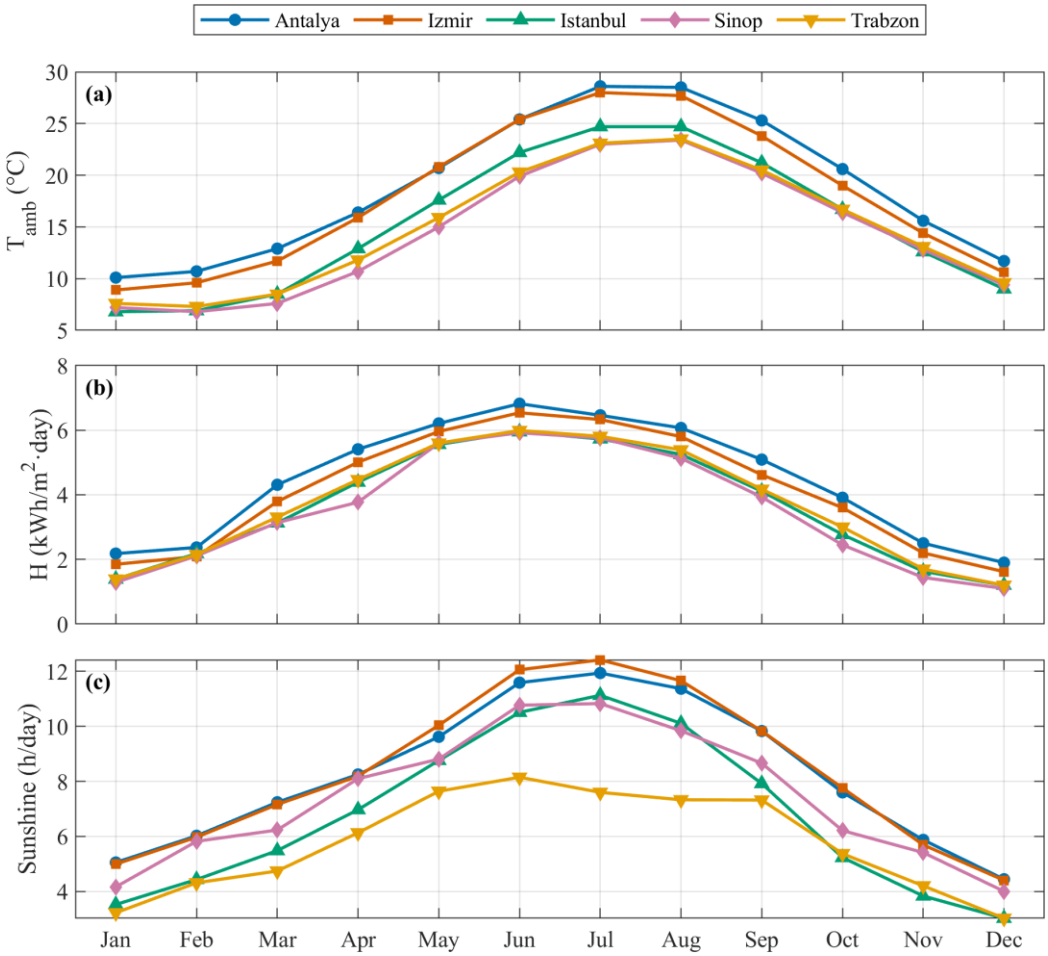


Fig. 2. Monthly climatic data for the selected cities: (a) ambient temperature, (b) global solar radiation, and (c) sunshine duration

In addition to climatic conditions, seawater temperature and salinity were considered because of their influence on the operating conditions and performance of the RO process. The monthly seawater temperatures used at the RO intake for the five cities are presented in Fig. 3. Representative salinity values of 39.0, 38.5, 22.0, and 18.0 g/kg were considered for the Mediterranean, Aegean, Marmara, and Black Seas, respectively. The main climatic and seawater characteristics of the selected locations are summarized in Table 1.

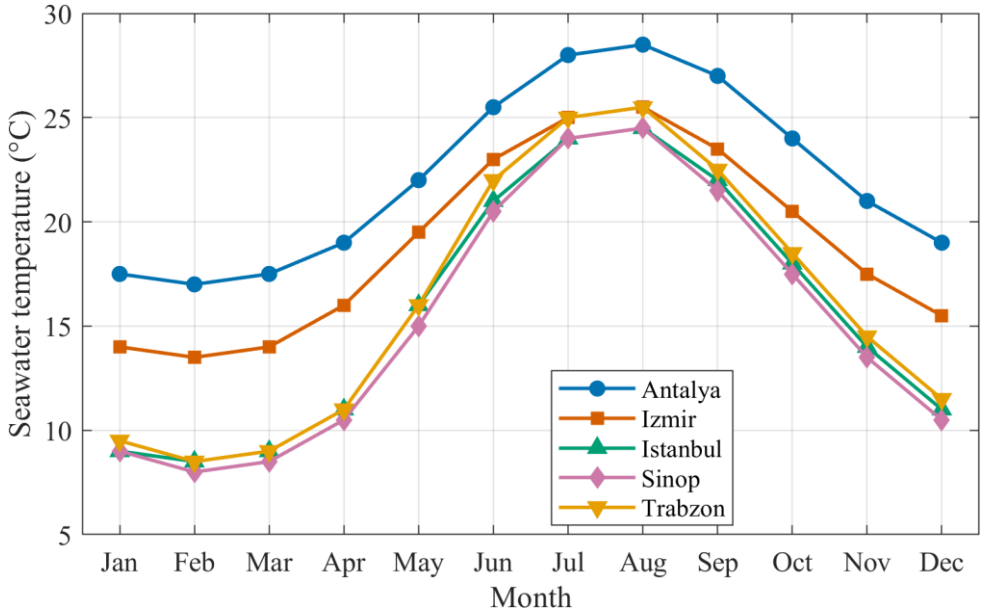


Fig. 3. Monthly seawater temperatures for the selected cities

Table 1. Climatic and seawater characteristics of the selected locations

City (district)	Sea	Salinity (g/kg)	Annual T_a (°C)	Annual H (kWh/m^2)	Annual sunshine (h)
Antalya (Muratpaşa)	Mediterranean	39.0	18.9	1623	3010
Izmir (Konak)	Aegean	38.5	18.0	1507	3052
Istanbul (Büyükçekmece)	Marmara	22.0	15.3	1319	2466
Sinop (Merkez)	Black Sea	18.0	14.4	1269	2704
Trabzon (Merkez)	Black Sea	18.0	14.8	1347	2101

The thermodynamic performance of the proposed PV-driven SWRO system was evaluated based on mass, energy, and exergy balances. The analysis was carried out under steady-state operating conditions, and changes in kinetic and potential energies were neglected. For a general control volume, the mass and energy balance equations can be expressed as [11]:

$$\sum \dot{m}_{inlet} - \sum \dot{m}_{outlet} = 0 \quad (1)$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum (\dot{m}h)_{outlet} - \sum (\dot{m}h)_{inlet} \quad (2)$$

Besides the energy analysis, the system's exergy analysis was also conducted in order to determine the irreversibilities and the second-law efficiency. The exergy balance for a steady flow control volume is expressed by [11]:

$$\dot{E}x_Q - \dot{E}x_W = \sum \dot{E}x_{outlet} - \sum \dot{E}x_{inlet} + \dot{E}x_{Dest} \quad (3)$$

where $\dot{E}x_{Dest}$ is the amount of exergy destroyed in the process. The conditions of seawater prevailing at the point of intake were considered as the reference conditions for each city.

The specific energy consumption (SEC) of the RO plant was found out by taking into consideration the energy obtained from pressurized brine:

$$SEC_{net} = \frac{\dot{W}_{pump} - \dot{W}_{RT}}{\dot{V}_p} \quad (4)$$

Here $\dot{W}_{pump}$ is the high-pressure pump power, $\dot{W}_{RT}$ is the power recovered by the turbine, and $\dot{V}_p$ is the freshwater production rate. The second-law efficiency of the RO process was calculated as:

$$\eta_{II} = \frac{\dot{W}_{min}}{\dot{W}_{net}} \quad (5)$$

where $\dot{W}_{min}$ is the theoretical minimum work required for seawater separation based on the exergy difference between the inlet and outlet streams and $\dot{W}_{net}$ is the actual net work input to the RO process. The overall exergy efficiency of the PV-driven SWRO system was determined as:

$$\eta_{ex,sys} = \frac{\dot{W}_{min}}{\dot{E}x_{sun}} \quad (6)$$

where $\dot{E}x_{sun}$ is the solar exergy input to the PV array.

4. RESULTS AND DISCUSSION

The monthly variation in mean solar irradiance during sunshine hours, PV cell temperature, and electrical efficiency is presented in Fig. 4. PV cell temperature generally increases during the summer months as a result of higher solar irradiance and ambient temperature. The highest values are observed in July and August, reaching approximately 48-49 °C in Antalya and 52 °C in Trabzon. The increase in cell temperature leads to a corresponding reduction in PV electrical efficiency, with summer values decreasing to approximately 21.4-21.7%. In contrast, lower ambient temperatures during winter improve the electrical conversion efficiency, with the highest value reaching approximately 23.8% in Sinop. The relatively high mean irradiance obtained for Trabzon, particularly between March and August (700–765 W/m²), is associated with its shorter sunshine duration. Since the daily solar radiation is distributed over fewer sunshine hours, the calculated mean irradiance during the operating period becomes relatively high.

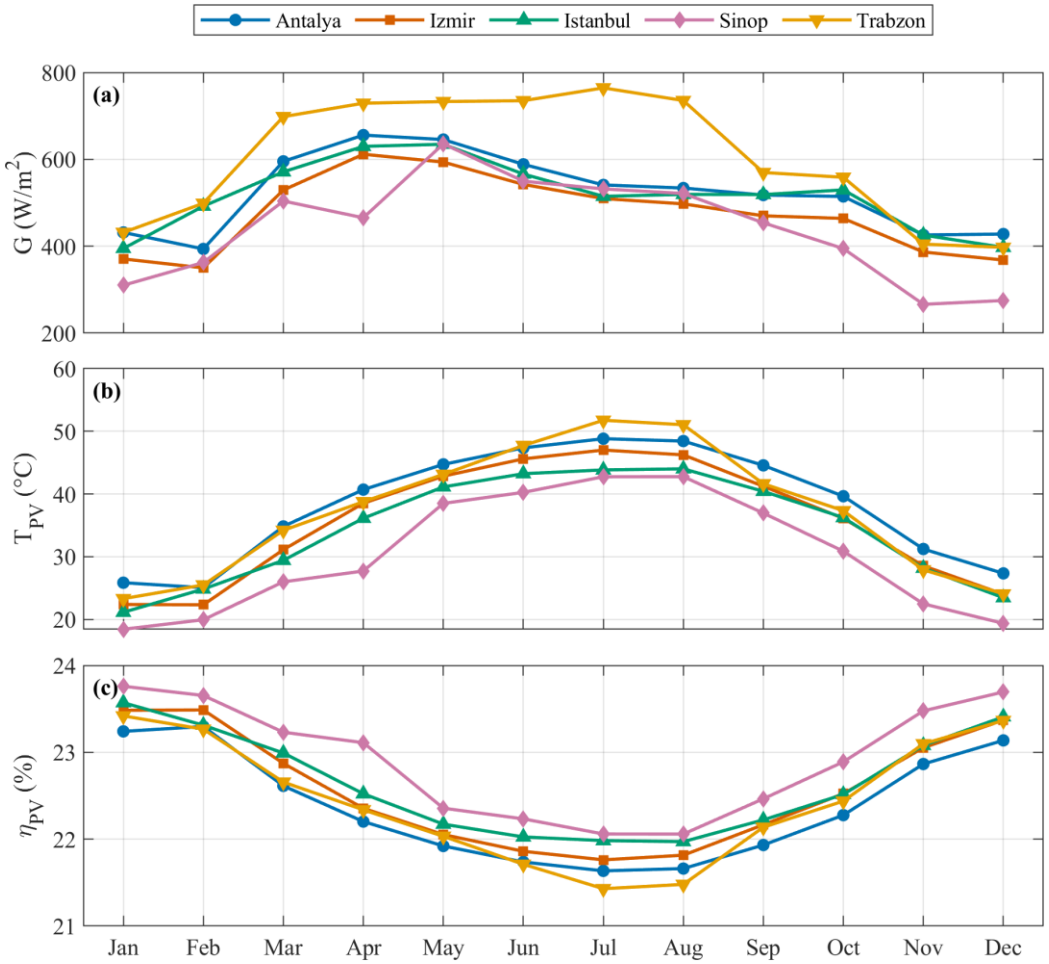


Fig. 4. Monthly variation in (a) mean solar irradiance, (b) PV cell temperature, and (c) PV electrical efficiency

The monthly AC electricity generation of the 100.1 kWp PV system is presented in Fig. 5. Electricity production follows the seasonal variation in the available solar resource, with considerably higher generation during the summer months. The maximum monthly production is obtained in June, reaching 16.5 MWh in Antalya and 15.9 MWh in Izmir, whereas the lowest values occur in December and range between approximately 3.0 and 5.1 MWh among the selected cities. On an annual basis, Antalya provides the highest PV electricity generation with 133.4 MWh, followed by Izmir (124.7 MWh), Trabzon (110.6 MWh), Istanbul (109.7 MWh), and Sinop (106.6 MWh). The corresponding specific yields are 1333, 1246, 1105, 1095, and 1065 kWh/kWp, respectively. Since the calculations are based on global solar radiation on a horizontal surface without a tilt correction, these results represent a relatively conservative estimate of the electricity that could be generated by an optimally oriented PV array.

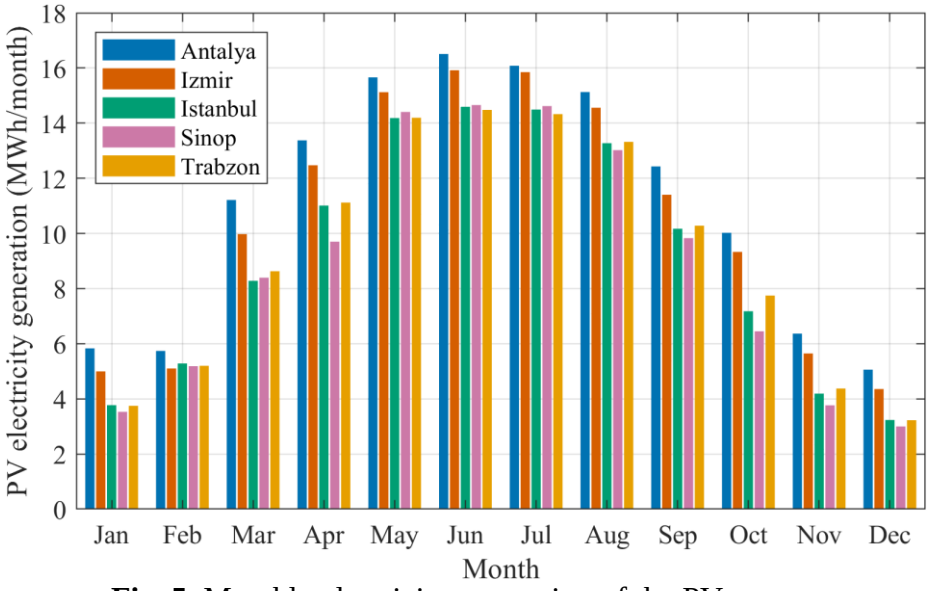


Fig. 5. Monthly electricity generation of the PV system

The monthly freshwater production for the selected cities is presented in Fig. 6. Although Antalya and Izmir have higher solar energy potential, the highest freshwater production is obtained for the Black Sea locations. The maximum monthly production reaches 7,424 m³ in Sinop in July, corresponding to approximately 239.5 m³/day. In contrast, the lowest monthly production is 1,448 m³ in Istanbul in December, corresponding to 46.7 m³/day. On an annual basis, Sinop provides the highest freshwater production with 51,712 m³, followed by Trabzon (49,170 m³), Istanbul (48,370 m³), Antalya (46,589 m³), and Izmir (44,014 m³).

Comparing the electricity and freshwater productions shows the significant impact of seawater properties on the desalination process. Despite the fact that PV electricity production annually in Antalya is around 25% greater than in Sinop, the annual freshwater production in Sinop is around 11% greater. Such a difference is mostly connected to seawater salinity and corresponding osmotic pressure. As the salinity level of the Black Sea is significantly lower (18 g/kg), the required RO feed pressure in Sinop is approximately 34–44 bar, compared with 52–58 bar in Antalya and Izmir. Thus, a larger amount of freshwater can be produced per unit of PV electricity under lower-salinity conditions. It is necessary to point out that such results show that PV-driven SWRO system efficiency cannot be estimated by the amount of solar energy only.

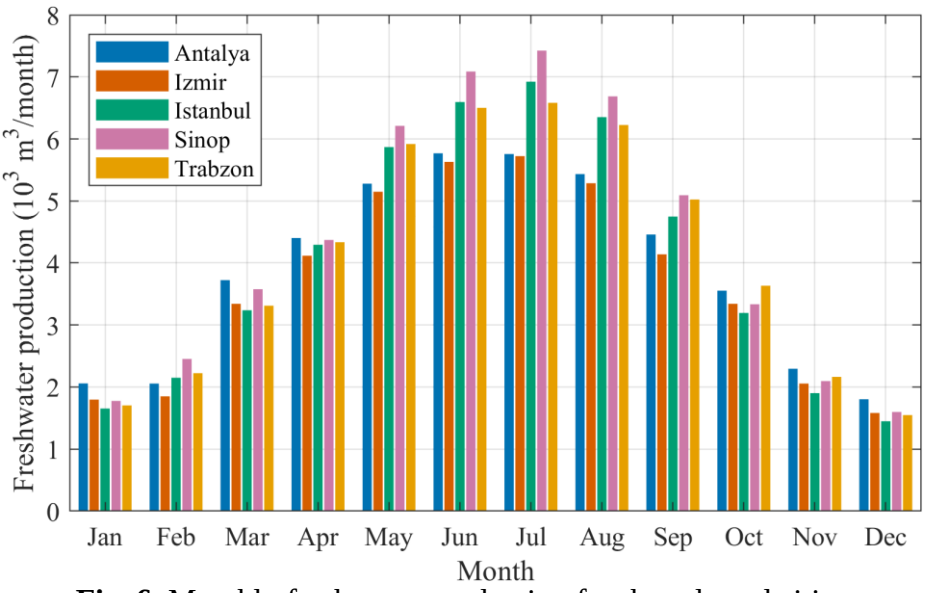


Fig. 6. Monthly freshwater production for the selected cities

The SEC of the RO plant is illustrated in Fig. 7. It shows that the average annual SEC of the chosen locations differs significantly with values of 2.86 kWh/m³ for Antalya, 2.83 kWh/m³ for Izmir, 2.27 kWh/m³ for Istanbul, 2.25 kWh/m³ for Trabzon, and 2.06 kWh/m³ for Sinop. On the other hand, the gross SEC of the plant without any energy recovery is equal to 3.25-4.51 kWh/m³. Since the recovery turbine provides about 36.5% of the pump power, there is a decrease in the net energy needed for the process. Seasonal variations of the SEC are also noticeable. Higher SEC values generally occur in March and April, mainly due to the relatively low seawater temperatures. Under these conditions, lower membrane permeability increases the pressure required for freshwater production. As seawater temperature rises during summer, membrane permeability improves and SEC decreases. For example, the SEC in Antalya decreases from 3.04 kWh/m³ in April to 2.78 kWh/m³ in August.

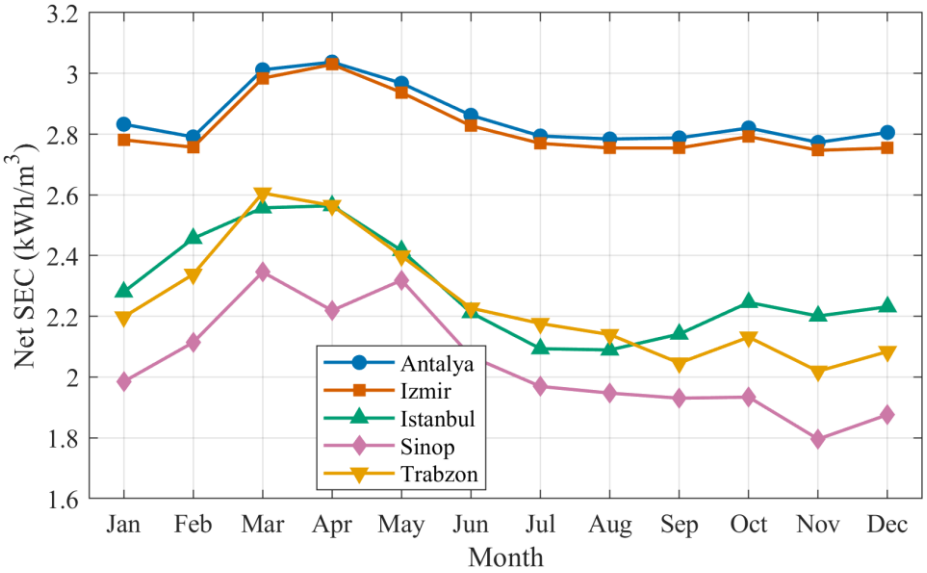


Fig. 7. Monthly net specific energy consumption for the selected cities

The annual performance of the PV-driven SWRO system is compared in Fig. 8 in terms of PV electricity generation, freshwater production, water yield per installed PV capacity, and net specific energy consumption. Antalya records the highest annual electricity generation of 133.4 MWh, while Sinop is the city with the lowest annual electricity generation of 106.6 MWh. On the contrary, Sinop produces the largest amount of annual fresh water, 51,712 m³, followed by Trabzon with 49,170 m³, Istanbul with 48,370 m³, Antalya with 46,589 m³, and Izmir with 44,014 m³ of fresh water.

The comparison also shows the strong influence of seawater salinity on the energy required for desalination. It can be seen that Antalya and Izmir, with their highest salinity, have their net SECs of 2.86 and 2.83 kWh/m^3 respectively. On the other hand, lower salinity of the Black Sea results in low energy consumption rates. It was found out that Sinop had a net SEC of 2.06 kWh/m3 while Trabzon had 2.25 kWh/m^3. Altogether, it can be said that the results of the year show that solar availability does not define the production potential of the plant.

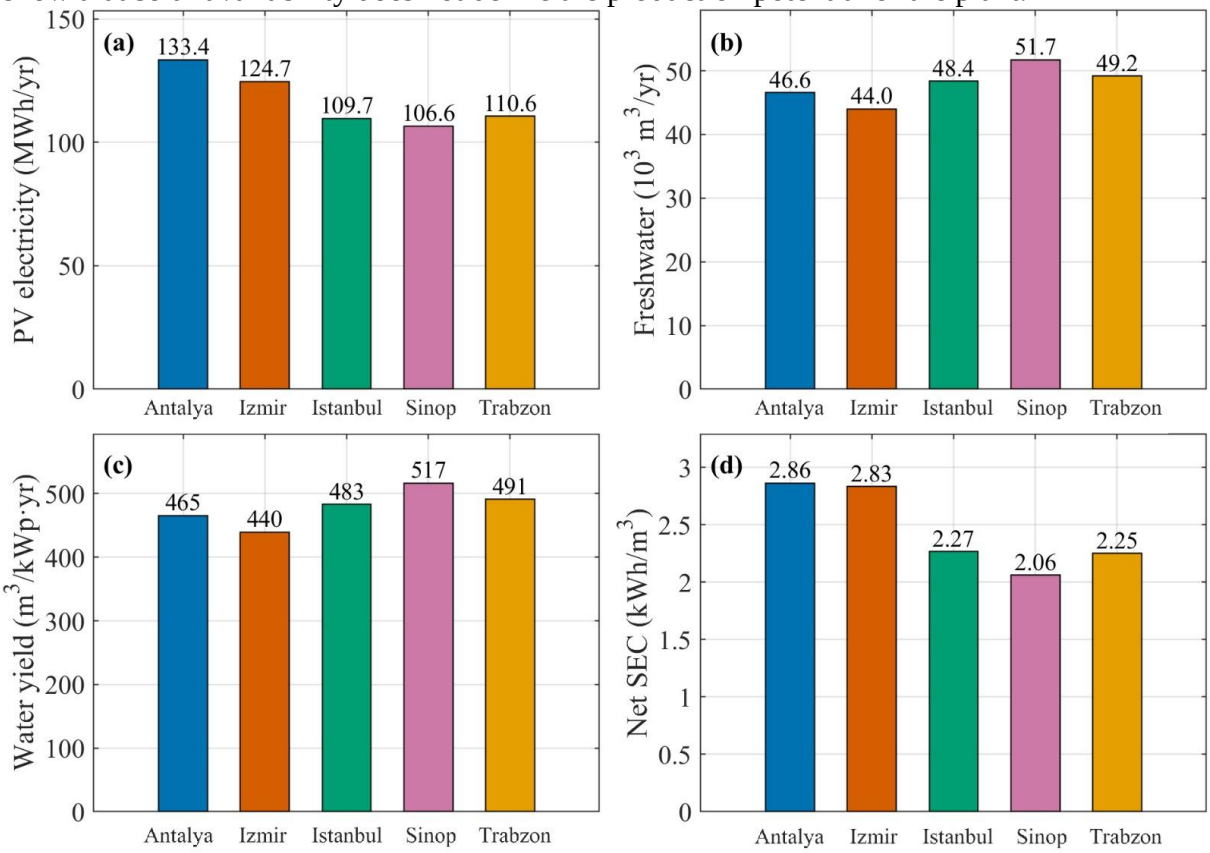


Fig. 8. Annual performance of the PV-driven SWRO system: (a) PV electricity generation, (b) freshwater production, (c) water yield, and (d) net SEC

The exergy performance of the PV-driven SWRO system for the selected cities is presented in Table 2. The second-law efficiency of the RO process varies from 20.7% to 35.8%, with the highest values obtained for Antalya and Izmir. Although these locations have higher SEC values, their higher seawater salinity increases the theoretical minimum work required for separation, resulting in higher second-law efficiencies. The overall exergy efficiency shows a similar trend, ranging from 4.24% in Trabzon to 7.34% in Antalya. These results indicate that a lower SEC does not necessarily correspond to a higher second-law efficiency, since the minimum work required for separation is also strongly influenced by feedwater salinity.

Table 2. Exergy performance of the PV-driven SWRO system for the selected cities

Parameter	Antalya	Izmir	Istanbul	Sinop	Trabzon
Second-law efficiency of RO, η_{II} (%)	35.8	35.3	24.9	22.5	20.7
Overall exergy efficiency, $\eta_{ex,sys}$ (%)	7.34	7.30	5.17	4.70	4.24

5. CONCLUSIONS

A comparative energy, water, and exergy assessment of a 100.1 kWp PV-driven SWRO system with brine energy recovery was performed for five coastal cities of Türkiye. According to the results of monthly and annual calculations, the findings of the study are as follows:

- Annual PV electricity generation varies from 106.6 MWh in Sinop to 133.4 MWh in Antalya, reflecting the geographical variation in solar energy availability among the selected locations.
- Despite its lower PV electricity generation, Sinop achieves the highest annual freshwater production of 51,712 m³, corresponding to a water yield of 517 m³/kWp·yr. The lowest production is obtained in Izmir at 44,014 m³/year. This result demonstrates the strong influence of feedwater salinity and osmotic pressure on freshwater production.
- The net SEC ranges from 2.06 to 2.27 kWh/m³ for the Marmara and Black Sea locations and from 2.83 to 2.86 kWh/m³ for the Mediterranean and Aegean locations. The brine recovery turbine supplies approximately 36.5% of the pump power, considerably reducing the net energy requirement of the RO process.
- Seawater temperature also affects seasonal system performance. Lower feedwater temperatures increase the energy requirement of the RO process, whereas warmer seawater improves membrane permeability and reduces SEC.
- The second-law efficiency of the RO process ranges from 20.7% to 35.8%, while the overall solar-to-separation exergy efficiency varies between 4.2% and 7.3%.

Overall, the results demonstrate that the performance of PV-driven SWRO systems should not be evaluated solely on the basis of solar energy availability. Seawater salinity and temperature should also be considered when selecting suitable coastal locations. Future studies may extend the present analysis by considering optimally tilted PV arrays, hourly climatic data, energy storage, and PV/T-assisted configurations.

REFERENCES

[1] Foqha T, Refaat SS, Mohammed A, Farrag M, Gamal H. Renewable energy sources: Progress, challenges, and environmental benefits. Renew Sustain Energy Rev 2026;240:117167. https://doi.org/10.1016/j.rser.2026.117167.

[2] Megía PJ, Vizcaíno AJ, Calles JA, Carrero A. Hydrogen Production Technologies: From Fossil Fuels toward Renewable Sources. A Mini Review. Energy & Fuels 2021;35:16403–15. https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.1c02501.

[3] Rosińska W, Jurasz J, Przestrzelska K, Wartalska K, Kaźmierczak B. Climate change's ripple effect on water supply systems and the water-energy nexus – A review. Water Resour Ind 2024;32:100266. https://doi.org/10.1016/j.wri.2024.100266.

[4] Tayeh YA. A comprehensive review of reverse osmosis desalination: Technology, water sources, membrane processes, fouling, and cleaning. Desalin Water Treat 2024;320:100882. https://doi.org/10.1016/j.dwt.2024.100882.
[5] Alam J, Daoud OA, Shukla AK, Ali FAA, Alhoshan M. Simulation of a Solar-Powered Reverse Osmosis System Integrated with Vacuum Membrane Distillation for Desalination Brine Treatment. Arab J Sci Eng 2023;48:16343–57. https://doi.org/10.1007/s13369-023-08212-x.
[6] Abdelgaied M, Kabeel AE, Kandeal AW, Abosheiasha HF, Shalaby SM, Hamed MH, et al. Performance assessment of solar PV-driven hybrid HDH-RO desalination system integrated with energy recovery units and solar collectors: Theoretical approach. Energy Convers Manag 2021;239:114215. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114215.
[7] Abobeah S, El Bouz MA, Abdelsalam MM. Artificial intelligence based forecasting and optimization of hybrid solar-powered desalination systems combining reverse osmosis and humidification-dehumidification. Desalin Water Treat 2026;326:101769. https://doi.org/10.1016/j.dwt.2026.101769.
[8] Delgado-Torres AM, García-Rodríguez L, del Moral MJ. Preliminary assessment of innovative seawater reverse osmosis (SWRO) desalination powered by a hybrid solar photovoltaic (PV) - Tidal range energy system. Desalination 2020;477:114247. https://doi.org/10.1016/j.desal.2019.114247.
[9] Cordoba S, Esquivel-Puentes HA, Ren J, Castillo L, Warsinger DM. Assessing thermodynamic performance and system integration of solar-powered batch reverse osmosis for seawater desalination. Energy Convers Manag 2026;354:121204. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2026.121204.
[10] Li R, Zheng S, Wang R, Xu Z. Energy and exergy analyses of a solar PV/T driving hybrid reverse osmosis-thermal distillation system. Sol Energy 2023;263:111985. https://doi.org/10.1016/j.solener.2023.111985.
[11] Bejan A. Advanced Engineering Thermodynamics. Adv Eng Thermodyn 2016;i:1–746. https://doi.org/10.1002/9781119245964.

GÜNEŞ ENERJİSİYLE BESLENEN, ISI ÜRETİMLİ İKİ KADEMELİ ADYABATİK SIKIŞTIRILMIŞ HAVA ENERJİ DEPOLAMA SİSTEMİ: YÜKSEK RAKIMLI BİR KENT İÇİN: ISPARTA, TÜRKİYE ÖRNEĞİ

Prof. Dr. Onder KIZILKAN
Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Department of Mechanical Engineering, 32040 Merkez, Isparta
ORCID ID: 0000-0002-4865-6135
Doç. Dr. Gamze SOYTURK
Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Department of Mechanical Engineering, 32040 Merkez, Isparta
ORCID ID: 0000-0001-7191-8765
Dr. Öğr. Üyesi Serpil CELIK TOKER
Isparta University of Applied Sciences, Faculty of Technology, Department of Mechanical Engineering, 32040 Merkez, Isparta
ORCID ID: 0000-0003-3572-7907

ÖZET

Bu çalışma, Türkiye'nin iç kesimlerinde yer alan ve 1035 m rakıma sahip Isparta'da, 100.1 kWp gücündeki bir fotovoltaik (PV) dizi ile şarj edilen, yakıt gerektirmeyen iki kademeli adyabatik sıkıştırılmış hava enerji depolama (A-CAES) sistemini analiz etmektedir. Sıkıştırma hattı, yayımlanmış bir CAES konfigürasyonunu temel almaktadır: eşit basınç oranlarına sahip iki kompresör, bir ara soğutucu, bir son soğutucu ve 7–10.1 bar arasında işletilen bir hava deposu. Ancak önerilen sistemde, soğutuculardan geri kazanılan ısı bir termal enerji depolama (TES) sisteminde depolanmaktadır. Akşam saatlerinde TES, herhangi bir yakıt kullanılmadan genleşme öncesinde havayı yeniden ısıtmakta; yeniden ısıtmada kullanılamayan ısı ise 70 °C sıcak su olarak sağlanmaktadır. Model, referans çalışmadaki kompresör çıkış sıcaklıklarını, soğutucu ısıl yüklerini ve şarj/deşarj sürelerini %4.3'ü aşmayan sapmalarla yeniden üretmektedir. Temsili günlere ait saatlik PV gücü, GEPA güneş ışınımı ve MGM sıcaklık verilerinden elde edilmiştir. Yıllık bazda PV dizisi kompresörlere 132.6 MWh elektrik enerjisi sağlamaktadır. Sistem, akşam saatlerindeki 5 saatlik zaman diliminde 65.8 MWh elektrik enerjisi ve 59.1 MWh sıcak su enerjisi üretmektedir. Buna göre elektriksel çevrim verimi %49.7, birleşik elektrik ve ısı verimi ise %94.2 olarak hesaplanmıştır. Türbin çıkış havasının sıcaklığı oldukça düşüktür (−27 ila −7 °C) ve yaklaşık 13 MWh/yıl ilave soğutma potansiyeli sunmaktadır. Aynı lokasyonda tek kademeli kompresör kullanılması daha yüksek bir elektriksel verim (%60.4) sağlamakta, ancak faydalı bir ısı yan ürünü üretmemektedir. 1035 m rakımdaki daha düşük ortam basıncı nedeniyle toplam basınç oranı 11.3'e yükselmekte ve deniz seviyesine kıyasla gerekli depolama hacmi %6 azalmaktadır (1730 m³'e karşı 1841 m³). Duyarlılık analizi, daha yüksek depolama çıkış basıncının hem elektriksel verimi hem de gerekli depolama hacmini artırdığını göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Adyabatik CAES, iki kademeli sıkıştırma, fotovoltaik, kojenerasyon, ekserji, Isparta

SOLAR-CHARGED TWO-STAGE ADIABATIC COMPRESSED AIR ENERGY STORAGE WITH HEAT CO-GENERATION FOR AN INLAND HIGH-ALTITUDE CITY: THE CASE OF ISPARTA, TÜRKİYE

ABSTRACT

This study analyses a fuel-free, two-stage adiabatic compressed air energy storage (A-CAES) system that is charged by a 100.1 kWp photovoltaic (PV) array in Isparta, an inland city of Türkiye at 1035 m altitude. The compression train follows a published CAES configuration: two compressors with equal pressure ratios, an intercooler, an aftercooler and an air store operated between 7 and 10.1 bar. In the proposed system, however, the cooler heat is stored in a thermal energy store (TES). In the evening, the TES reheats the air before expansion without any fuel, and the heat that cannot be used for reheating is supplied as 70 °C hot water. The model reproduces the compressor outlet temperatures, the cooler heat duties and the charge and discharge times of the reference study within 4.3%. Hourly PV power on representative days is derived from GEPA radiation and MGM temperature data. On an annual basis, the PV array supplies 132.6 MWh to the compressors. The system returns 65.8 MWh of electricity in a 5 h evening window and 59.1 MWh of hot water, which gives an electrical round-trip efficiency of 49.7% and a combined power-and-heat efficiency of 94.2%. The turbine exhaust is cold (−27 to −7 °C) and offers about 13 MWh/yr of additional cooling potential. A single-stage compressor at the same site yields a higher electrical efficiency (60.4%) but no heat co-product. Because of the lower ambient pressure at 1035 m, the total pressure ratio rises to 11.3, which reduces the required storage volume by 6% compared with sea level (1730 vs 1841 m^3). The sensitivity analysis shows that a higher storage outlet pressure increases both the electrical efficiency and the storage volume.

Keywords: Adiabatic CAES, two-stage compression, photovoltaic, cogeneration, exergy, Isparta

1. INTRODUCTION

The increasing penetration of renewable energy technologies has intensified the need for efficient and flexible energy storage systems. Solar photovoltaic (PV) generation is inherently intermittent and strongly dependent on solar availability, while electricity demand does not necessarily coincide with the periods of maximum solar production. In particular, a considerable fraction of PV electricity is generated around midday, whereas electricity demand may remain high during the evening hours. Energy storage can therefore play an important role in shifting renewable electricity from periods of high generation to periods of high demand, while improving the balance between electricity supply and consumption [1–3]. Among the available large-scale storage technologies, compressed air energy storage (CAES) has attracted considerable attention because of its ability to store electrical energy in the form of compressed air and subsequently recover this energy through an expansion process [4,5].

In a conventional CAES system, electricity available during off-peak periods is used to drive compressors and store pressurised air in a cavern or another suitable storage volume. During periods of high electricity demand, the stored air is released and expanded through a turbine to generate electricity [4]. Large-scale CAES has already been demonstrated commercially; the Huntorf plant in Germany represents one of the earliest applications of the technology [6]. However, conventional CAES plants are generally diabatic: a substantial part of the heat generated during compression is rejected to the surroundings, while fuel is subsequently required to heat the stored air before expansion. This configuration reduces the overall utilisation of the compression energy and introduces a fossil-fuel requirement during the

discharge process. Adiabatic compressed air energy storage (A-CAES) provides an alternative approach in which the heat generated during compression is recovered and stored for later use during air expansion [1,7]. Consequently, the external fuel requirement can be reduced or eliminated, making A-CAES particularly attractive for integration with renewable electricity.

The integration of CAES with variable renewable energy sources has consequently received considerable research attention. CAES has been investigated extensively for wind-energy applications and for balancing fluctuations between renewable generation and electricity demand [2,3,8]. Similar interest has emerged in solar-driven CAES systems. Arabkoohsar et al. [9] performed a thermo-economic analysis and sizing study of a PV plant equipped with CAES, demonstrating the potential of compressed-air storage for increasing the utilisation of solar electricity. In a subsequent study, Arabkoohsar et al. [10] investigated the operation of a PV plant integrated with CAES and a natural-gas city gate station. Cazzaniga et al. [11] considered the integration of CAES with a floating photovoltaic plant, whereas Marano et al. [12] investigated the optimal management of a hybrid system combining wind turbines, photovoltaic panels and compressed-air storage. These studies demonstrate the potential compatibility between CAES and solar PV generation, particularly when electricity produced during solar-rich periods must be shifted to later hours.
The thermal behaviour of the compression process is a particularly important aspect of CAES because it affects both the electrical work required for charging and the amount and quality of recoverable thermal energy. Multistage compression with intercooling reduces the inlet temperature of subsequent compressor stages and consequently decreases the required compression work. At the same time, the heat rejected by the intercooler and aftercooler represents a potentially useful thermal-energy stream. Hartmann et al. [1] showed that the configuration of an adiabatic CAES plant and the management of compression heat strongly influence system performance. Energy and exergy analyses of A-CAES systems have also highlighted the importance of thermal-energy recovery and component irreversibilities in determining overall efficiency [7,13,14]. Therefore, compression heat should not necessarily be regarded as a loss; when appropriately recovered, it can either be returned to the compressed air during discharge or supplied as a useful thermal product.

This concept has also motivated the development of CAES-based combined cooling, heating and power systems. Several studies have investigated the recovery of thermal energy from CAES configurations to simultaneously provide electricity and useful heating or cooling [15–18]. Kim and Favrat [19], for example, performed energy and exergy analyses of a micro-CAES system integrated with air-cycle heating and cooling. Mohammadi et al. [16] examined a CCHP configuration integrating wind energy and CAES, while Yao et al. [17] investigated the thermo-economic optimisation of a small-scale CAES-based CCHP system. Such configurations demonstrate that evaluating CAES solely in terms of recovered electricity may underestimate the useful energy that can be obtained from the charging and discharging processes.

Of particular relevance to the present work is the CCHP system proposed by Sadreddini et al. [20], which combines CAES with an organic Rankine cycle (ORC) and an ejector refrigeration cycle. Their compression train consists of two compressors with equal pressure ratios, together with an intercooler and an aftercooler. The heat rejected from the compressed air is recovered to produce hot water at 70 °C, while intercooling also reduces the work requirement of the second compression stage. During discharge, however, the stored air is supplied to a combustion chamber before expansion through the gas turbine, and the remaining exhaust heat

is subsequently utilized by the ORC and ejector subsystems. Under the reported design conditions, the system produced approximately 34 kW of power, 25.4 kW of heating and 0.32 kW of cooling, with a round-trip efficiency of 68%. The exergy analysis further showed that the combustion chamber accounted for approximately half of the total exergy destruction of the plant, indicating the thermodynamic significance of the fuel-based reheating process.

The present study develops this configuration in a different direction. The two-stage compression train with intercooling and aftercooling is retained because it provides both reduced compression work and recoverable thermal energy. However, instead of directly producing hot water from all of the recovered compression heat and subsequently reheating the stored air through fuel combustion, the heat rejected in the intercooler and aftercooler is collected in a thermal energy storage (TES) unit. During the evening discharge period, the stored thermal energy is first used to reheat the compressed air before turbine expansion. Any thermal energy that cannot be utilised for reheating is supplied as useful heat in the form of 70 °C hot water. The combustion chamber, ORC and ejector cycle employed in the reference configuration are therefore eliminated. This produces a simpler, fuel-free A-CAES configuration in which the charging electricity is supplied entirely by solar PV and the compression heat is internally recovered for the discharge process. In addition, the low temperature of the turbine exhaust provides a potential cooling resource without requiring a separate refrigeration cycle.

The geographical conditions of the installation site are another important consideration in CAES performance. Most CAES analyses adopt atmospheric conditions close to sea level, although the ambient pressure directly affects the total compression and expansion pressure ratios. The present study considers Isparta, Türkiye (37.76° N), an inland location situated approximately 1035 m above sea level. At this elevation, the atmospheric pressure is approximately 0.895 bar. For a fixed maximum storage pressure, this lower ambient pressure increases the overall pressure ratio relative to an equivalent sea-level installation. In addition, seasonal variations in solar radiation and ambient temperature influence both PV electricity production and CAES operation. Isparta therefore provides a useful case for examining the combined effects of solar availability, ambient temperature and altitude on a PV-driven A-CAES system.

Against this background, the present study investigates a PV-driven, two-stage A-CAES system with thermal-energy recovery for combined electricity and heat production. Unlike the reference CCHP configuration [20], no fuel is consumed during discharge; the compression heat is stored and subsequently used for reheating the compressed air. Hourly PV generation is determined for representative days using local solar-radiation and ambient-temperature data, allowing the charging process to follow the available solar power rather than assuming a constant compressor input. The objectives of the study are therefore (i) to model the performance of the PV-driven two-stage A-CAES system for Isparta on a monthly representative-day basis, (ii) to validate the compression model against the published CAES configuration of Sadreddinni et al. [20], (iii) to quantify the annual electricity and useful-heat outputs and the additional cooling potential of the turbine exhaust, (iv) to compare the two-stage configuration with a single-stage compression system and with operation at sea-level atmospheric pressure, and (v) to investigate the effects of the maximum and minimum storage pressures on system performance and the required air-storage volume.

2. SYSTEM DESCRIPTION

The system is shown in Fig. 1. During daylight hours, the PV array (220 TT455-108TN10 modules, 429.6 m2) supplies a variable-speed motor that drives two compressors on a common shaft. Ambient air (state 1) is compressed in the first compressor (C1) to the intermediate pressure (state 2). It is then cooled in the intercooler (IC) to 10 K above ambient (state 3), compressed in the second compressor (C2) to 10.1 bar (state 4), and cooled again in the aftercooler (AC) (state 5) before it enters the air store. The heat removed in the IC and the AC is stored in a TES using pressurised water or thermal oil.

In the evening, the stored air is throttled to 7 bar (state 6) and reheated with the TES heat (state 7). It is then expanded in a turbine–generator to atmospheric pressure (state 8). The reheating temperature is limited by the TES temperature, so part of the stored heat cannot be used by the turbine. As in the reference system, this surplus heat is delivered as 70 °C hot water. The compressor stops when the PV power is below 15% of its rating, and the stored air is discharged at constant mass flow over 5 h.

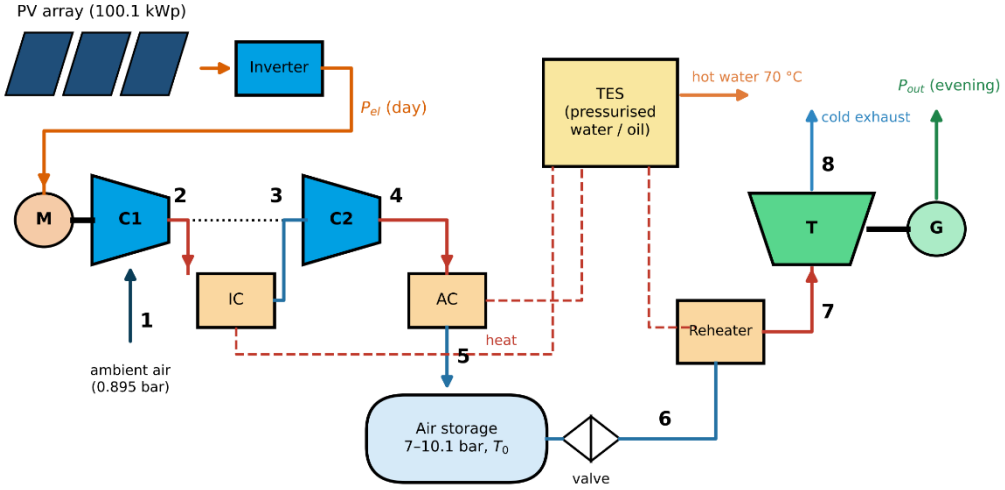


Fig. 1. Schematic of the PV-charged two-stage adiabatic CAES with hot water co-generation

3. METHODOLOGY

3.1. Site data and hourly PV power

Monthly mean daily global radiation (H) and sunshine duration were taken from GEPA, and monthly mean ambient temperatures (1929–2025) from MGM for Isparta (Merkez). The data are shown in Fig. 2. The annual totals are 1620 kWh/m^2 of radiation and 2885 h of sunshine, and the annual mean temperature is 12.4 °C. The atmospheric pressure at 1035 m follows from the standard atmosphere:

$$P_{atm} = 101.325\,(1 - 2.25577\times10^{-5}\,z)^{5.25588} = 89.49\ \text{kPa} \quad (1)$$

For the representative day of each month, H is distributed over the day with the Collares-Pereira and Rabl correlation. The PV module temperature and the electrical output are then calculated as:

$$\alpha\tau G = \eta_{PV}\,G + U_L(T_{PV} - T_a), \quad \eta_{PV} = \eta_{ref}[1 - \beta(T_{PV} - 25)], \quad P_{el} = A_{PV}\,\eta_{PV}\,G\,\eta_{dc}\,\eta_{inv} \quad (2)$$

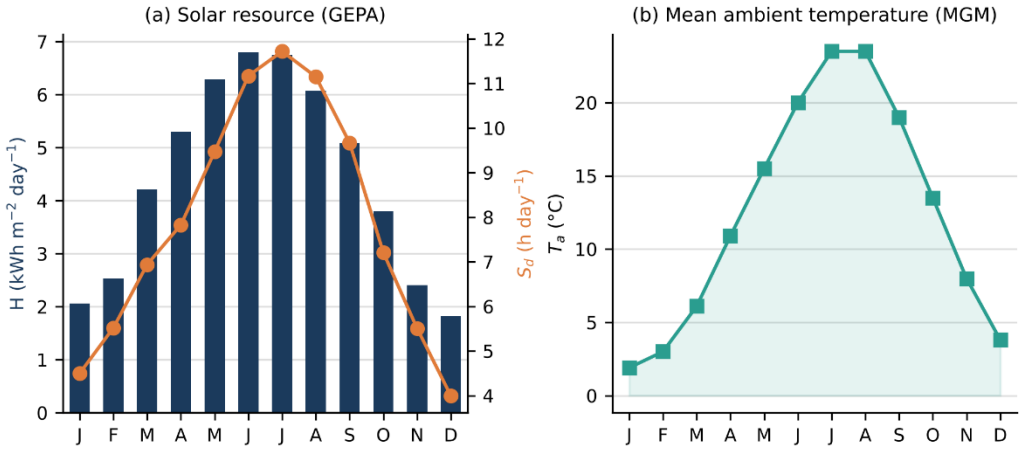


Fig. 2. Isparta: (a) monthly daily global radiation and sunshine duration (GEPA) and (b) mean ambient temperature (MGM)

3.2. Two-stage compression and heat storage

Following the reference model, the two compressors have equal pressure ratios. The total pressure ratio is set by the storage inlet pressure and the local atmospheric pressure:

$$PR = P_{max}/P_{atm} = 11.29, \quad r_{p1} = r_{p2} = \sqrt{PR} = 3.36 \tag{3}$$

Air properties are taken from CoolProp. Each compression is modelled with the isentropic efficiency ($\eta_c = 0.85$), and both coolers deliver air at $T_0 + 10$ K:

$$h_{out} = h_{in} + [h_s(s_{in}, P_{out}) - h_{in}]/\eta_c, \quad w_c = (h_2 - h_1) + (h_4 - h_3) \tag{4}$$

$$q_{IC} = h_2 - h(P_2, T_3), \quad q_{AC} = h_4 - h(P_4, T_5) \tag{5}$$

The compressor mass flow follows the available PV power, $\dot{m}(t) = \eta_m P_{el}(t)/w_c$. The daily stored air mass is $M = \int \dot{m}\, dt$. The required storage volume is obtained from the density difference between the inlet and outlet pressures at ambient temperature, as in the reference model:

$$V_{st} = M / [\rho(P_{max}, T_0) - \rho(P_{min}, T_0)] \tag{6}$$

3.3. Discharge, hot water and performance indicators

The TES temperature is the duty-weighted average of the two cooler inlet temperatures minus the pinch difference ($\Delta T_p = 10$ K). The turbine inlet temperature is limited both by the stored energy (after a heat loss $\xi = 5\%$) and by this TES temperature:

$$T_{TES} = [q_{IC}(T_2 - \Delta T_p) + q_{AC}(T_4 - \Delta T_p)]/(q_{IC} + q_{AC}), \quad T_7 = \min[T(h_6 + (1 - \xi)(q_{IC} + q_{AC})), T_{TES} - \Delta T_p] \tag{7}$$

$$q_{hw} = (1 - \xi)(q_{IC} + q_{AC}) - (h_7 - h_6), \quad E_{out} = \eta_g M(h_7 - h_8) \tag{8}$$

Following the reference study, two round-trip efficiencies are defined: an electrical one, and a combined one in which the hot water is added to the output. An exergy efficiency is also defined, in which the hot water is counted at its exergy value (log-mean temperature of water heated from T_0 to 70 °C):

$$RTE_{el} = E_{out}/E_{use}, \quad RTE_{CHP} = (E_{out} + Q_{hw})/E_{use}, \quad \psi = (E_{out} + Ex_{hw})/E_{use} \tag{9}$$

The exergy destruction of each component (compressors, coolers and TES, storage and valve, turbine) is obtained from the exergy balances of the reference study, with the monthly ambient temperature and P_{atm} as the dead state. The main parameters are given in Table 1.

Table 1. Design parameters [20]

Parameter	Value
PV array	220 × TT455-108TN10, 100.1 kWp, horizontal; DC losses 10%, inverter 96%
Site	Isparta, 37.76° N, 1035 m, P_{atm} = 89.49 kPa
Compressors	Two stages, equal pressure ratios, η_{c} = 0.85
Storage inlet / outlet pressure	10.1 bar / 7 bar
Cooler air outlet temperature	T_0 + 10 K
TES pinch / heat loss	10 K / 5%
Turbine isentropic efficiency	0.85*
Motor / generator efficiency	0.95 / 0.95
Hot water temperature	70 °C*
Compressor cut-in / discharge window	15% of rating / 5 h (evening)
Fuel	None (combustion chamber of the reference replaced by TES reheating)

3.4. Model validation

The two-stage compression model was run with the design data of the reference study (15 °C, 1.01 bar, total pressure ratio 10, 0.096 kg/s, coolers to 40 °C, 300 m^3 cavern, 0.06 kg/s discharge). The comparison is given in Table 2. Outlet temperatures, cooler heat duties and operating times agree within 4.3%. The compressor powers are 5–7% lower, because the enthalpy differences in the reference correspond to an effective specific heat of about 1.05–1.07 kJ/kg·K, which is higher than that of real air (≈1.01 kJ/kg·K).

Table 2. Validation against the reference CAES study

Parameter	Reference [20]	Present model	Deviation (%)
Compressor 1 outlet temperature (°C)	147.25	146.52	−0.5
Compressor 2 outlet temperature (°C)	184.46	182.60	−1.0
Intercooler heat duty (kW)	10.82	10.36	−4.3
Aftercooler heat duty (kW)	14.59	13.98	−4.2
Compressor 1 / 2 power (kW)	13.37 / 14.89	12.73 / 13.85	−4.8 / −7.0
Charge / discharge time (h)	2.98 / 4.77	3.00 / 4.80	+0.7 / +0.7

4. RESULTS AND DISCUSSION

4.1. Hourly charging

Fig. 3 shows the PV power and the compressor air flow on the representative days of January, April, July and October. The peak PV power is 65.4 kW in summer and 32 kW in January. Because of the 15% cut-in (9.8 kW), the compressor operates for 12.3 h in July but only about

7.3 h in January. The peak air flow is 0.21 kg/s. The PV energy below the cut-in is 1.7% of the monthly generation in summer and 7.3% in December, or 2.6% annually.

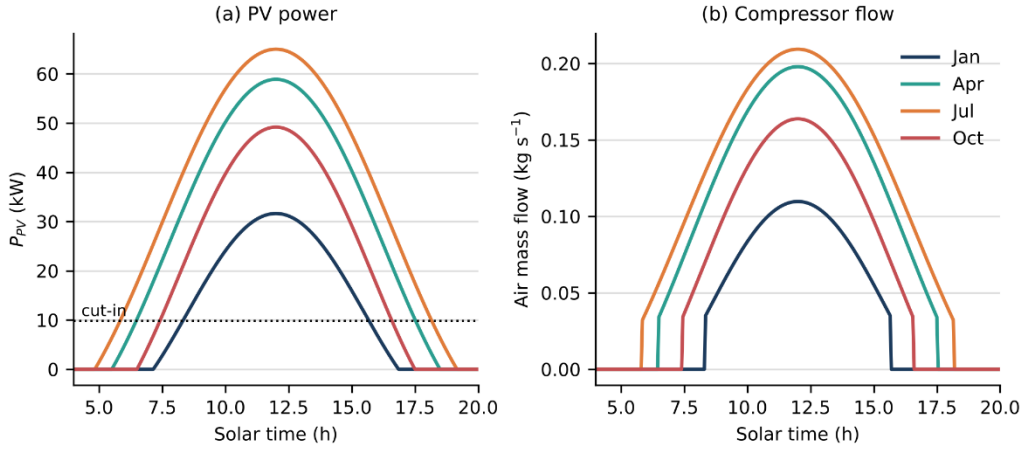


Fig. 3. (a) PV power and (b) compressor air mass flow on representative days

4.2. Process temperatures and states

The monthly process temperatures are shown in Fig. 4. The compressor outlet temperatures are 135–167 °C (C1) and 150–182 °C (C2), so the TES operates at about 133–165 °C, and the turbine inlet temperature (T_7) is 123–155 °C. At this low turbine inlet temperature, the expansion from 7 bar to 0.895 bar (pressure ratio 7.8) ends well below ambient, with an exhaust temperature of −27 °C in January and −7 °C in July. The cold exhaust could provide about 13 MWh/yr of cooling when it is warmed back to ambient. In practice, however, the air must be dried before storage to prevent icing in the turbine. The state properties for July are listed in Table 3.

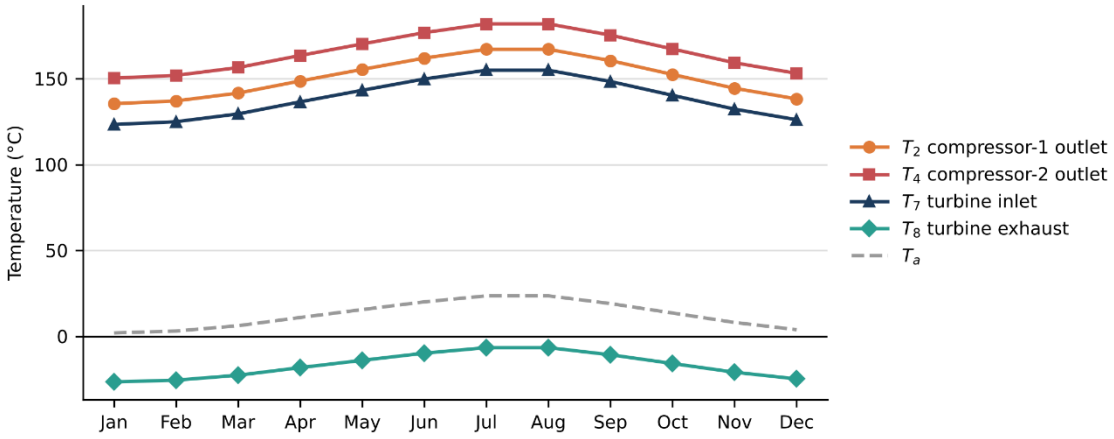


Fig. 4. Monthly compressor outlet, turbine inlet and turbine exhaust temperatures

Table 3. Thermodynamic states in July (T_0 = 23.5 °C, P_0 = 89.49 kPa; daily air mass 6215 kg)

State	Description	P (kPa)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg·K)	e (kJ/kg)
1	Ambient air	89.5	23.5	422.95	3.911	0.00
2	C1 outlet	300.6	167.1	567.99	3.962	130.01
3	Intercooler outlet	300.6	33.5	432.56	3.595	103.29
4	C2 outlet	1010.0	181.9	582.59	3.646	238.28

State	Description	P (kPa)	T (°C)	h (kJ/kg)	s (kJ/kg·K)	e (kJ/kg)
5	Aftercooler outlet (stored)	1010.0	33.5	431.05	3.243	206.29
6	After throttling valve	700.0	22.8	420.84	3.314	174.98
7	Turbine inlet (TES reheated)	700.0	154.9	555.19	3.689	198.01
8	Turbine exhaust	89.5	−6.7	392.62	3.803	1.66

4.3. Monthly electricity, heat and storage

Fig. 5 shows the monthly energy flows. The electricity output ranges from 2.33 MWh in December to 8.27 MWh in July, and the hot water output from 2.09 to 7.40 MWh. About 68% of the annual output is produced between April and September, and the July/December ratio is 3.5. In July, 6.2 t of air is stored per day. It returns 267 kWh of electricity and 239 kWh of hot water. In the same month, the specific compression work is 295.1 kJ/kg (145.0 kJ/kg in C1 and 150.0 kJ/kg in C2), and the specific turbine work is 162.6 kJ/kg.

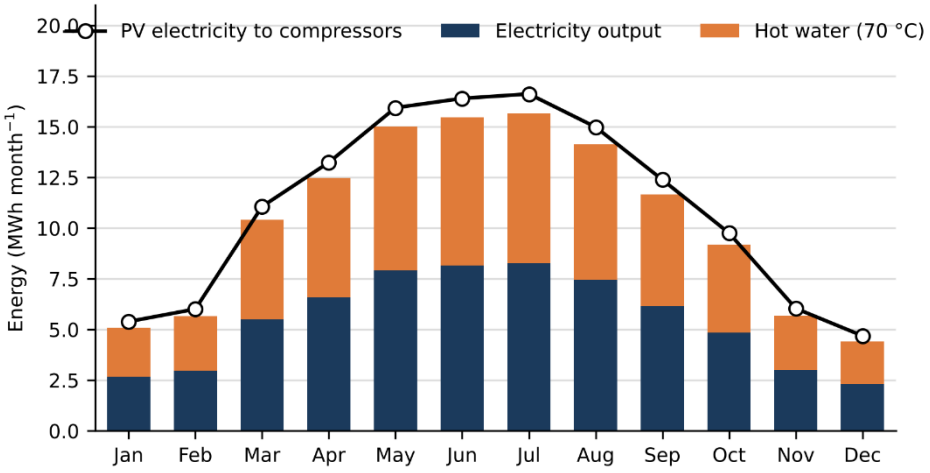


Fig. 5. Monthly PV electricity used by the compressors, electricity output and hot water output

The monthly efficiencies are shown in Fig. 6. The electrical RTE (49.6–49.7%) and the combined RTE (94.2%) hardly change during the year. The exergy efficiency is 52.9–54.3% and is slightly higher in winter, because 70 °C hot water has more exergy when the ambient temperature is low. The daily stored air and the storage volume are shown in Fig. 7. June is the design month, with 6.41 t/day of air and a storage volume of 1730 m^3. In December, only 477 m^3 is used. The turbine rating for the 5 h discharge is 54.3 kW, and in December the turbine runs at 15 kW.

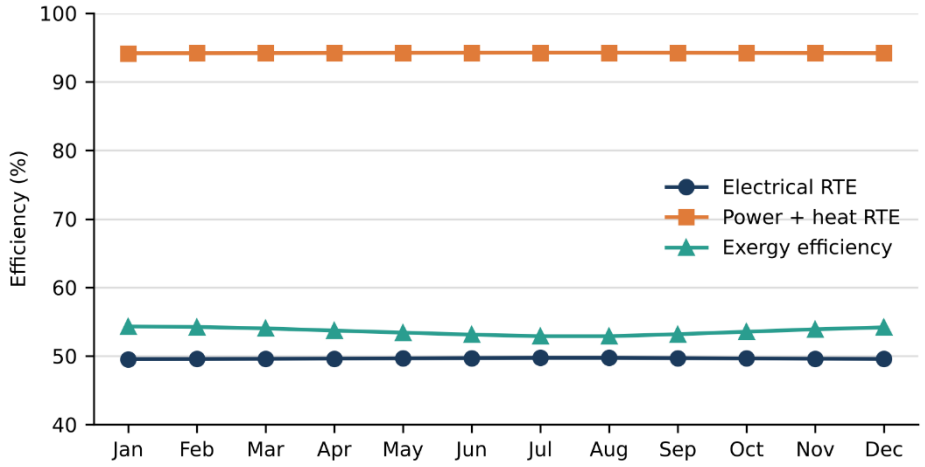


Fig. 6. Monthly electrical RTE, combined power-and-heat RTE and exergy efficiency

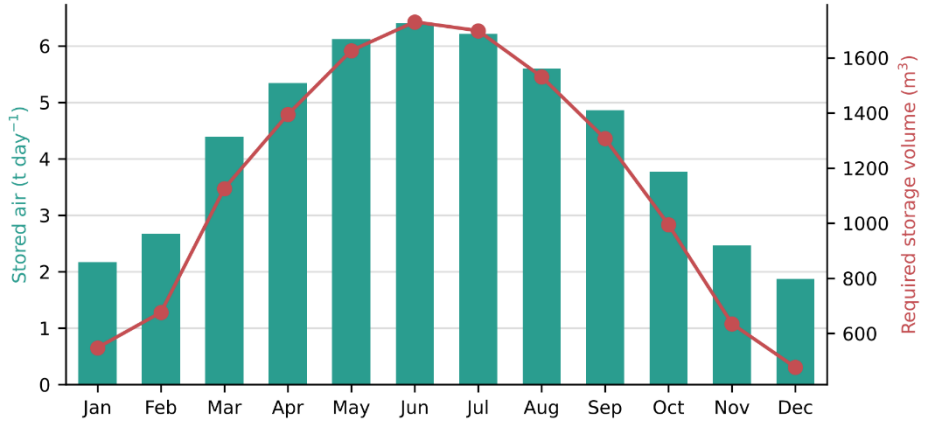


Fig. 7. Daily stored air mass (bars) and required storage volume (line)

4.4. Two-stage vs single-stage compression and the effect of altitude

Table 4 and Fig. 8 compare the two-stage design with a single-stage compressor at the same site (same storage pressures) and with the two-stage design at sea level. Intercooling lowers the specific compression work from 349.6 to 295.1 kJ/kg in July. As a result, 18% more air is stored per year (1582 vs 1335 t). However, the turbine inlet temperature falls from 338 °C to 155 °C, so the specific turbine work drops from 233.9 to 162.6 kJ/kg. The single-stage design therefore produces 22% more electricity (80.0 vs 65.8 MWh) at an electrical RTE of 60.4%, and it needs a 16% smaller store. The two-stage design, in turn, supplies 59.1 MWh/yr of hot water (about 920 m^3 of water heated from 15 to 70 °C), which raises its combined RTE to 94.2%. The choice between the two thus depends on whether there is a local heat demand, such as space heating during the long Isparta winter, greenhouses or industrial processes.

At sea level, the total pressure ratio needed to reach 10.1 bar is 9.97 instead of 11.29. Each kilogram of air then needs less work, so more air has to be stored (1683 t/yr), and the storage volume rises to 1841 m^3. The electricity and heat outputs are almost unchanged (65.5 MWh and 59.2 MWh). The altitude of Isparta is therefore a slight advantage for storage size.

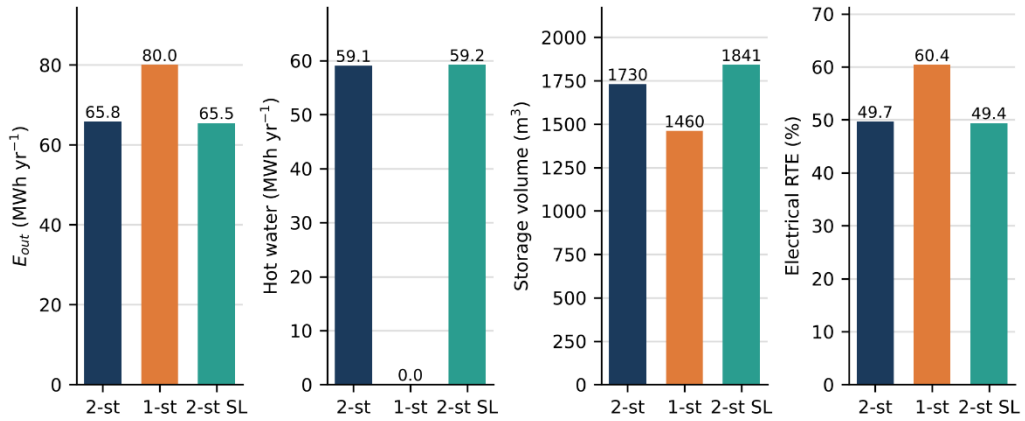


Fig. 8. Comparison of two-stage (Isparta), single-stage (Isparta) and two-stage (sea level) designs

Table 4. Annual results for the three cases

Parameter	Two-stage, Isparta	Single-stage, Isparta	Two-stage, sea level
PV electricity / used by compressors (MWh)	136.1 / 132.6	136.1 / 132.6	136.1 / 132.6
Air stored (t/yr)	1582	1335	1683
Electricity output (MWh)	65.8	80.0	65.5
Hot water (MWh)	59.1	–	59.2
Electrical RTE (%)	49.7	60.4	49.4
Power + heat RTE (%)	94.2	60.4	94.1
Exergy efficiency (%)	53.4	60.4	53.2
Storage volume (m^3)	1730	1460	1841
Turbine rating, 5 h (kW)	54.3	66.0	54.1

4.5. Exergy analysis

The annual exergy balances of the two Isparta cases are compared in Fig. 9. In the two-stage system, 48.4% of the PV electricity is returned as electricity and 3.7% as hot water exergy. The largest destructions occur in the turbine (10.6%), the storage and valve (9.8%) and the compressors (9.4%), followed by the coolers and TES (7.6%), the motor (4.9%) and the energy below cut-in (2.6%). The exhaust loss is only 0.5%, because the exhaust is close to the dead state. In the single-stage system, the TES loss is halved (3.8%) because the heat is reused at a higher temperature, and the electrical output share rises to 58.8%. Large heat-transfer temperature differences in the intercooler and aftercooler, where air at 135–182 °C is cooled with water, are the main reason for the higher exergy destruction of the two-stage system, as also found in the reference study.

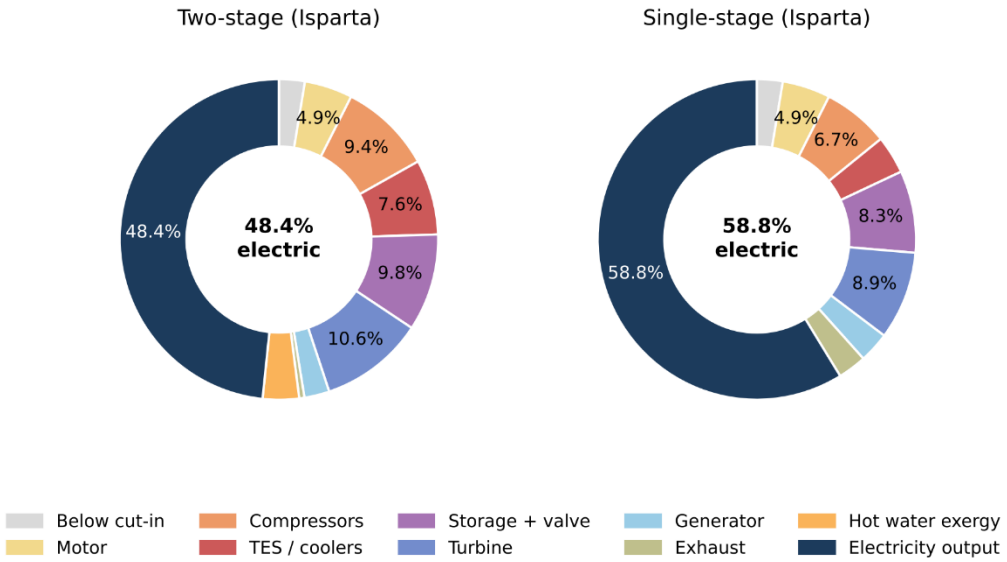


Fig. 9. Annual exergy balance as a share of PV electricity: two-stage and single-stage designs in Isparta

4.6. Effect of storage pressures

The effect of the storage inlet and outlet pressures, the two main parameters examined in the reference study, is shown in Fig. 10. Raising the inlet pressure P_{max} from 9 to 16 bar lowers the electrical RTE from 51.6% to 43.5% and the combined RTE from 96.3% to 87.7%. This is because more work is spent on compression and more energy is lost by throttling to 7 bar. At the same time, the storage volume falls sharply, from 2842 to 483 m^3. Raising the outlet pressure P_{min} from 5 to 8.5 bar has the opposite effect: the electrical RTE rises from 43.4% to 53.0% and the combined RTE from 87.9% to 97.6%, because the throttling loss shrinks and the turbine expands over a larger pressure ratio. The storage volume, however, grows from 1052 to 3351 m^3. The hot water output stays almost constant (58.5–59.2 MWh). These trends agree with those reported for the reference CAES, where a higher cavern outlet pressure also increased the RTE and decreased exergy destruction.

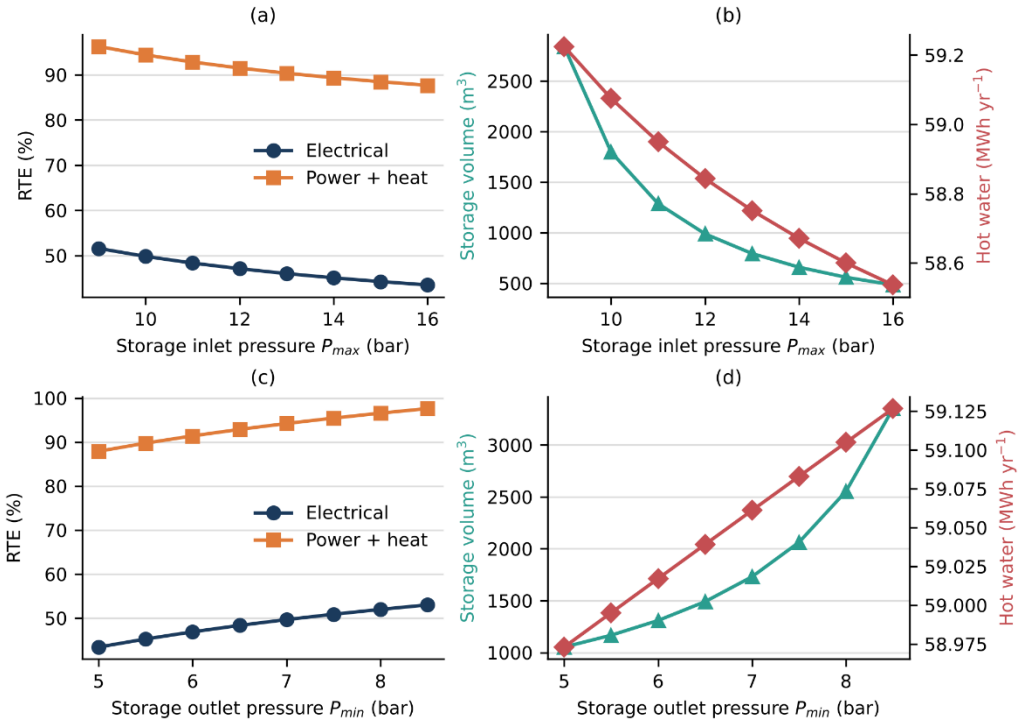


Fig. 10. Effect of (a, b) storage inlet pressure and (c, d) storage outlet pressure on RTE, storage volume and hot water output

5. CONCLUSIONS

A PV-charged, fuel-free two-stage adiabatic CAES with hot water co-generation was analysed for Isparta, based on the compression train of a published CAES study. The main conclusions are:

- The compression model reproduces the reference outlet temperatures, cooler duties and charge and discharge times within 4.3%.
- From 132.6 MWh/yr of PV electricity used for compression, the system delivers 65.8 MWh of evening electricity and 59.1 MWh of 70 °C hot water. The electrical RTE is 49.7%, the combined power-and-heat RTE 94.2% and the exergy efficiency 53.4%.
- Intercooling limits the TES and turbine inlet temperatures to about 133–165 °C and 123–155 °C, respectively. The turbine exhaust is therefore sub-ambient (−27 to −7 °C), which offers cooling potential but requires air drying.
- A single-stage compressor gives 22% more electricity (RTE 60.4%) and a 16% smaller store but no heat. The two-stage design is preferable where there is a local heat demand.
- The altitude of Isparta (0.895 bar) increases the required pressure ratio to 11.3 and reduces the storage volume by 6% compared with sea level, with almost unchanged output.
- A higher storage outlet pressure raises the RTE but increases the storage volume, whereas a higher inlet pressure has the opposite effect. The storage pressure window should therefore be selected together with the storage cost.

REFERENCES

[1] Hartmann, N., Vöhringer, O., Kruck, C., Eltrop, L. Simulation and analysis of different adiabatic compressed air energy storage plant configurations. Applied Energy, 93 (2012), 541–548.
[2] Foley, A., Lobera, I.D. Impacts of compressed air energy storage plant on an electricity market with a large renewable energy portfolio. Energy, 57 (2013), 85–94.
[3] de Boer, H.S., Grond, L., Moll, H., Benders, R. The application of power-to-gas, pumped hydro

storage and compressed air energy storage in an electricity system at different wind power penetration levels. Energy, 72 (2014), 360–370.
[4] Lund, H., Salgi, G. The role of compressed air energy storage (CAES) in future sustainable energy systems. Energy Conversion and Management, 50(5) (2009), 1172–1179.
[5] Karellas, S., Tzouganatos, N. Comparison of the performance of compressed-air and hydrogen energy storage systems: Karpathos island case study. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 29 (2014), 865–882.
[6] Raju, M., Khaitan, S.K. Modeling and simulation of compressed air storage in caverns: A case study of the Huntorf plant. Applied Energy, 89(1) (2012), 474–481.
[7] Szablowski, L., Krawczyk, P., Badyda, K., Karellas, S., Kakaras, E., Bujalski, W. Energy and exergy analysis of adiabatic compressed air energy storage system. Energy, 138 (2017), 12–18.
[8] Zhang, Y., Yang, K., Li, X., Xu, J. Thermodynamic analysis of energy conversion and transfer in hybrid system consisting of wind turbine and advanced adiabatic compressed air energy storage. Energy, 77 (2014), 460–477.
[9] Arabkoohsar, A., Machado, L., Farzaneh-Gord, M., Koury, R.N.N. Thermo-economic analysis and sizing of a PV plant equipped with a compressed air energy storage system. Renewable Energy, 83 (2015), 491–509.
[10] Arabkoohsar, A., Machado, L., Koury, R.N.N. Operation analysis of a photovoltaic plant integrated with a compressed air energy storage system and a city gate station. Energy, 98 (2016), 78–91.
[11] Cazzaniga, R., Cicu, M., Rosa-Clot, M., Rosa-Clot, P., Tina, G.M., Ventura, C. Compressed air energy storage integrated with floating photovoltaic plant. Journal of Energy Storage, 13 (2017), 48–57.
[12] Marano, V., Rizzo, G., Tiano, F.A. Application of dynamic programming to the optimal management of a hybrid power plant with wind turbines, photovoltaic panels and compressed air energy storage. Applied Energy, 97 (2012), 849–859.
[13] Liu, H., He, Q., Saeed, S.B. Thermodynamic analysis of a compressed air energy storage system through advanced exergetic analysis. Journal of Renewable and Sustainable Energy, 8(3) (2016), 034101.
[14] Bagdanavicius, A., Jenkins, N. Exergy and exergoeconomic analysis of a compressed air energy storage combined with a district energy system. Energy Conversion and Management, 77 (2014), 432–440.
[15] Yan, Y., Zhang, C., Li, K., Wang, Z. An integrated design for hybrid combined cooling, heating and power system with compressed air energy storage. Applied Energy, 210 (2018), 1151–1166.
[16] Mohammadi, A., Ahmadi, M.H., Bidi, M., Joda, F., Valero, A., Uson, S. Exergy analysis of a combined cooling, heating and power system integrated with wind turbine and compressed air energy storage system. Energy Conversion and Management, 131 (2017), 69–78.
[17] Yao, E., Wang, H., Wang, L., Xi, G., Maréchal, F. Thermo-economic optimization of a combined cooling, heating and power system based on small-scale compressed air energy storage. Energy Conversion and Management, 118 (2016), 377–386.
[18] Facci, A.L., Sánchez, D., Jannelli, E., Ubertini, S. Trigenerative micro compressed air energy storage: Concept and thermodynamic assessment. Applied Energy, 158 (2015), 243–254.
[19] Kim, Y., Favrat, D. Energy and exergy analysis of a micro-compressed air energy storage and air cycle heating and cooling system. Energy, 35(1) (2010), 213–220.
[20] Sadreddini, A., Fani, M., Ashjari Aghdam, M., Mohammadi, A. Exergy analysis and optimization of a CCHP system composed of compressed air energy storage system and ORC cycle. Energy Conversion and Management, 157 (2018), 111–122.

DECOMPOSING THE COLD-WEATHER ENERGY PENALTY OF PLUG-IN HYBRID ELECTRIC VEHICLES IN NATURALISTIC DRIVING DATA

Assistant Professor Dr. Tugba Tetik
Istanbul Medeniyet University, Department of Mechanical Engineering, Istanbul, Türkiye
ORCID ID: 0000-0002-0044-706X

ABSTRACT
Plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs) consume more energy in cold weather, but the increase across all operating modes reflects two mechanisms: higher energy intensity within each mode and a smaller share of distance driven in electric-only (EV) mode. These mechanisms were separated using naturalistic driving data from 22 PHEVs in three powertrain groups of the *Vehicle Energy Dataset*. Trips were divided into 60 s segments labelled as EV, Blended or charge-sustaining (CS) mode. The relative increase in tank-to-wheel (TTW) energy per kilometre between the cold (≤ 0 °C) and warm (> 20 °C) classes was decomposed into within-mode and mode-shift components. This increase was 87.1% in the 1.4L powertrain group (ten vehicles), 69.7% in the 2.0L group (nine vehicles) and 53.8% in the 1.8L group (three vehicles; descriptive only). As the dataset masks trip beginnings, cold starts are at most partly represented and these increases are likely underestimated. A substantial part of the increase (47.9–81.7% in the 1.4L group and 31.5–57.4% in the 2.0L group; 95% vehicle-level bootstrap confidence intervals) was attributable to the mode-shift component, whose point estimate remained positive across 81 labelling-threshold combinations, six temperature-bound sets and speed-standardised comparisons. As charging events are not recorded, this component may also reflect charging behaviour. In the 1.4L group, whether this component exceeded the within-mode component depended on the decomposition weights; in the 2.0L group, the two were of similar magnitude. The results depended strongly on the energy metric. With battery discharge weighted three times as heavily as fuel energy, the mode-shift component's share of the total increase fell to 17.0% (1.4L) and 7.3% (2.0L), because EV-mode energy intensity also increased in cold conditions in these groups. As TTW energy excludes charging losses and upstream energy, assessments of the cold-weather increase in PHEV energy consumption should specify the energy metric.
Keywords: Plug-in hybrid electric vehicles; Cold-weather energy consumption; Naturalistic driving data; Shift-share decomposition

ŞARJ EDİLEBİLİR HİBRİT ELEKTRİKLİ ARAÇLARDA SOĞUK HAVADAKİ ENERJİ TÜKETİMİ ARTIŞININ DOĞAL SÜRÜŞ VERİLERİYLE AYRIŞTIRILMASI

ÖZET
Şarj edilebilir hibrit elektrikli araçlar (PHEV) soğuk havada daha fazla enerji tüketmektedir; ancak tüm çalışma modları birlikte ele alınarak ölçülen artış iki mekanizmayı yansıtmaktadır: her modda kilometre başına enerji tüketiminin artması ve yalnızca elektrikle sürüş (EV) modunda kat edilen mesafe payının azalması. Bu iki mekanizma, *Vehicle Energy Dataset*'teki üç güç aktarma grubuna ait 22 PHEV'in doğal sürüş verileri kullanılarak birbirinden ayrılmıştır. Yolculuklar 60 saniyelik segmentlere bölünmüş ve her segment EV, karma (Blended) ya da şarj sürdürme (CS) modu olarak etiketlenmiştir. Soğuk (≤ 0 °C) ve sıcak (> 20 °C) sıcaklık sınıfları arasında depodan tekerleğe (TTW) kilometre başına enerji tüketiminde görülen göreli artış, mod içi ve mod kayması bileşenlerine ayrıştırılmıştır. Bu artış 1,4L güç aktarma grubunda (on araç) %87,1, 2,0L grubunda (dokuz araç) %69,7 ve 1,8L grubunda (üç araç; yalnızca betimsel)

%53,8 olarak bulunmuştur. Veri setinde yolculukların başlangıcı gizlendiğinden soğuk çalıştırmalar en fazla kısmen temsil edilmektedir ve bu artışların olduğundan düşük ölçülmüş olması muhtemeldir. Bu artışın önemli bir kısmının (1,4L grubunda %47,9–81,7, 2,0L grubunda %31,5–57,4; araç düzeyinde bootstrap yöntemiyle elde edilen %95 güven aralıkları) mod kayması bileşeninden kaynaklandığı belirlenmiştir. Bu bileşenin nokta tahmini, 81 etiketleme eşiği kombinasyonunda, altı farklı sıcaklık sınırı setinde ve hız etkisinin standartlaştırıldığı karşılaştırmalarda pozitif kalmıştır. Şarj olayları kaydedilmediğinden bu bileşen şarj davranışını da yansıtıyor olabilir. 1,4L grubunda mod kayması bileşeninin mod içi bileşenden büyük olup olmadığı, ayrıştırmada kullanılan ağırlıklandırmaya bağlıdır; 2,0L grubunda ise iki bileşen benzer büyüklüktedir. Sonuçlar, kullanılan enerji ölçütüne de büyük ölçüde bağlıdır. Batarya deşarjı yakıt enerjisinin üç katı ağırlıkla hesaba katıldığında, mod kayması bileşeninin toplam artış içindeki payı %17,0'a (1,4L) ve %7,3'e (2,0L) düşmüştür; bunun nedeni, bu gruplarda EV modunun enerji tüketiminin de soğuk koşullarda artmasıdır. TTW enerjisi şarj kayıplarını ve yakıt ile elektriğin üretim zincirindeki enerji kullanımını içermediğinden, PHEV'lerin soğuk havadaki enerji tüketimi artışını inceleyen değerlendirmelerde kullanılan enerji ölçütü açıkça belirtilmelidir.
Anahtar kelimeler: Şarj edilebilir hibrit elektrikli araçlar; Soğuk havada enerji tüketimi; Doğal sürüş verileri; Değişim-pay ayrıştırması

1. INTRODUCTION

Plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs) can be operated on electricity from the grid or on fuel, and their energy consumption depends both on the share of distance driven electrically and on the energy intensity of each operating mode. Studies of PHEVs in everyday use have reported fuel consumption and CO_2 emissions above type-approval or label values and have associated this difference with a lower share of electric driving than assumed in certification (Isenstadt et al., 2022; Plötz et al., 2020) and with infrequent charging (Plötz et al., 2020). The share of distance driven in charge-depleting operation, expressed as the utility factor (UF), is therefore central to PHEV assessment, and its calculation from real-world data is the subject of ongoing research (Duoba & Pulpeiro González, 2026; Sandoval Guzmán et al., 2026).

Ambient temperature is one of the conditions that cause PHEV energy consumption to deviate from test values. Temperature effects on PHEV fuel consumption, with charge-sustaining and pure-electric energy consumption reported separately, have been examined using on-board fuel and energy consumption monitoring (OBFCM) and telemetry data from a fleet of light-duty vehicles (Tansini et al., 2025). PHEVs have been measured in the laboratory and on the road in both charge-depleting and charge-sustaining operation (Tansini et al., 2022). Their energy consumption and emissions under real-world conditions have also been assessed with chassis dynamometer and on-road tests (Jeong et al., 2026) and with simulations calibrated on laboratory and on-road data (Dauphin et al., 2023). The need for harmonised identification of charge-depleting operation in field data has been noted (Plötz & Gnann, 2025, p. 21).

Naturalistic driving datasets allow these effects to be studied outside the laboratory. The *Vehicle Energy Dataset* (VED) contains high-frequency on-board records of conventional, hybrid, plug-in hybrid and battery electric vehicles in the Ann Arbor area, Michigan (Oh et al., 2022), and has been extended with corrected GPS coordinates and map-derived road attributes (S. Zhang et al., 2025). The share of charge-depleting driving has been derived from on-board diagnostic records (Duoba & Pulpeiro González, 2026), and operating modes have been identified with learning-based methods (X. Zhang et al., 2025).

An increase in energy consumption measured over all operating modes combines two mechanisms. First, the energy intensity of each mode may increase in cold conditions (the

within-mode component). Second, a smaller share of the distance may be driven in electric-only (EV) mode and a larger share in the Blended and charge-sustaining (CS) modes (the mode-shift component). A pooled comparison cannot distinguish the two, although they point to different causes: the within-mode component relates to the efficiency of the vehicle and its thermal systems, and the mode-shift component to the response of the vehicle to low temperature and to user behaviour. The decomposition may also depend on the energy metric. When energy is accounted for on a tank-to-wheel (TTW) basis, one kilowatt-hour of battery discharge counts the same as one kilowatt-hour of fuel energy, although supplying this electricity from the grid involves losses in both electricity generation and charging.

Laboratory and on-road measurements of single PHEVs in both charge-depleting and charge-sustaining operation have shown that cabin heating at low temperatures increases energy consumption (Ansari et al., 2024; Suarez-Bertoa et al., 2019) and reduces the electric range (Suarez-Bertoa et al., 2019). These and other tests of small numbers of PHEVs, in the laboratory or on fixed on-road routes, have reported higher mode-specific energy consumption (An et al., 2025; Ansari et al., 2024; Lohse-Busch et al., 2013; Ribberink et al., 2015; Suarez-Bertoa et al., 2019) and more frequent engine operation at low temperatures (Ansari et al., 2024; Humphries et al., 2022; Lohse-Busch et al., 2013; Ribberink et al., 2015), and the effects of low ambient temperature, cabin heating and a more dynamic driving cycle have been compared for eight PHEVs on a chassis dynamometer (Sandoval Guzmán et al., 2025). In laboratory tests of three PHEVs at −7 °C, the increase in total energy consumption has also been shown to depend on the method used to convert electricity into fuel equivalents (An et al., 2025). To the author's knowledge, however, the increase in energy consumption in cold weather has not been decomposed into these two components in naturalistic driving data, and the dependence of such a decomposition on the energy metric has not been examined.

This study addresses that gap using the PHEVs in VED. Its contributions are threefold: a processing pipeline that labels 60 s driving segments as EV, Blended or CS mode, handles the two fuel signals present in the data and checks the labels against physical expectations; a shift-share decomposition of the increase in energy consumption with vehicle-level bootstrap confidence intervals and robustness checks; and an analysis showing that the share attributed to the mode-shift component depends strongly on the weight of battery electricity relative to fuel energy.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. Dataset and vehicle groups

The dynamic driving data of the publicly available *Vehicle Energy Dataset* (VED) were used (Oh et al., 2022). The published data contain 24 plug-in hybrid electric vehicles (PHEVs), which were grouped by engine displacement into four powertrain groups (1.4L, 1.5L, 1.8L and 2.0L); the number of vehicles, trips and recorded distance of each group are given in Table 1. The median sampling interval over all PHEV samples was 0.6 s. The 1.5L powertrain group was excluded from the decomposition because it contains only two vehicles; it was retained in the descriptive tables. In the 2.0L group, two trips of one vehicle have no ambient temperature record; their 16 segments (Section 2.3) were not assigned to a temperature class. For privacy, the dataset masks the beginning and end of each trip and retains only the driving between the first and the last major intersection; it also truncates the data at a geographic boundary around Ann Arbor, so that rural driving outside this boundary is not included (Oh et al., 2022, Section III). In the PHEV data, 98.6% of trips begin at a non-zero vehicle speed, consistent with this truncation. The start of each trip is therefore not observed, and cold starts are at most partly represented.

Table 1. Data summary by powertrain group: vehicles, trips, segments, distance, fuel signal and availability of heater data.

Group	Vehicles	Trips	Recorded distance (km)	Segments	Segment distance (km)	Fuel signal	Heater data	In decomposition
1.4L	10	1,145	5,652	7,277	5,429	Fuel rate (L/h)	Yes (~30%)	Yes
1.5L	2	207	780	1,250	748	Fuel rate (L/h)	Yes (~29%)	No
1.8L	3	553	4,979	7,723	4,767	MAF-derived	No	Yes
2.0L	9	1,700	9,251	12,500	8,941	MAF-derived	No	Yes

2.2. Signal processing

Signals were integrated over time within each trip, with gaps between consecutive samples limited to 10 s. Distance was obtained by integrating vehicle speed. The fuel signal differs between powertrain groups. For the 1.4L and 1.5L groups, fuel consumption is reported directly as a fuel rate (L/h). For the 1.8L and 2.0L groups, only the mass air flow (MAF) is available, and the fuel volume flow was estimated as MAF / (AFR × ρ) and integrated over time, where AFR is the stoichiometric air–fuel ratio (14.08 for E10 gasoline; Oh et al., 2022) and ρ is the fuel density (745 g/L). The results for the two pairs of powertrain groups are therefore based on different fuel measurement methods. At engine speeds of 300 rpm or less, the engine was considered not to be running, and the small non-zero MAF reading (a sensor offset) was not counted as fuel. Unlike the fuel-consumption algorithm of Oh et al. (2022), no fuel-trim correction was applied. Fuel-trim signals were recorded in only 28–32% of the engine-on samples in these groups: in 67–74% of those in the warm temperature class but in 0–1% of those in the cold temperature class, so that a correction would have been applied almost only to the warm temperature class.

Battery energy was computed as the time integral of −V·I, because a positive current denotes charging in VED. For each segment (defined below), battery discharge was taken as the positive part of this net energy. Total energy was defined as the fuel volume multiplied by a lower heating value of 8.9 kWh/L plus the battery discharge, expressed per 100 km. This tank-to-wheel measure is referred to as TTW energy (k = 1); unless stated otherwise, all values in this paper refer to TTW energy (k = 1). To examine the dependence on the energy metric, a generalised measure, fuel energy at the lower heating value + k × battery discharge, was also used, with hypothetical weights k = 1 to 3 (see Section 2.5). Measured on a fuel lower-heating-value basis, k = 1 is a lower bound for the weight of electricity, because battery discharge excludes the losses incurred in charging the battery from the grid. When the energy consumed upstream of vehicle use, for example in electricity generation and fuel refining, is also included, the weight becomes $k = f_{\mathrm{el}}/(\eta_{\mathrm{ch}}\, f_{\mathrm{fuel}})$, where f_{el} and f_{fuel} are the primary-energy factors of grid electricity and fuel and η_{ch} is the battery discharge obtained per unit of grid electricity drawn for charging. Its value then depends on the electricity generation mix, on the calculation rule used to derive the factors and on the charging efficiency.

A state-of-charge (SOC) reading of 0 was interpreted as indicating that the usable battery energy was depleted. This interpretation is not documented in the dataset; it is supported by the small or negative net battery energy in segments labelled as CS mode (−3.2 to −0.5 kWh/100 km across the three analysed powertrain groups; Table 2). Heater power is available only for the 1.4L and 1.5L groups, and only in approximately 30% of engine-on samples (Table 1); it was therefore not used.

2.3. Mode labelling

Each trip was divided into fixed 60 s windows. Windows with a duration of 30 s or less or a distance of 0.2 km or less (corresponding to an average speed of 12 km/h over the window) were discarded; the retained windows are referred to as segments. The engine was considered to be on when its speed exceeded 300 rpm. A segment was labelled as charge-sustaining (CS) mode when the maximum SOC in the window was 1% or less; otherwise, it was labelled as EV mode when the engine was on for less than 5% of the window duration, and as Blended mode in all other cases. Unlike approaches based on on-board diagnostic records (Duoba & Pulpeiro González, 2026) or learning-based identification (X. Zhang et al., 2025), a rule-based labelling was used as the basis of the decomposition. The EV-mode share used in this study is the distance share of EV-mode segments; it is not equivalent to the utility factor, which refers to charge-depleting operation and would include part of the Blended mode.

The Blended mode comprises both engine-assisted driving that draws on the battery and charge-sustaining driving just above the CS threshold, in which the SOC remains above, but close to, 1% while the engine runs. Figure 1 illustrates the labelling for an example trip of a vehicle in the 2.0L group. The discarded windows (grey in Figure 1a) coincide with low vehicle speeds (Figure 1b). Between approximately 11 and 19 min, windows with an SOC near 2% (Figure 1c) and the engine running (Figure 1d) were labelled as Blended mode (Figure 1a). The effect of this ambiguity was tested with the sensitivity analysis of the CS threshold (1, 2 and 5%) and with a two-mode decomposition in which the Blended and CS modes were merged (see Section 2.5).

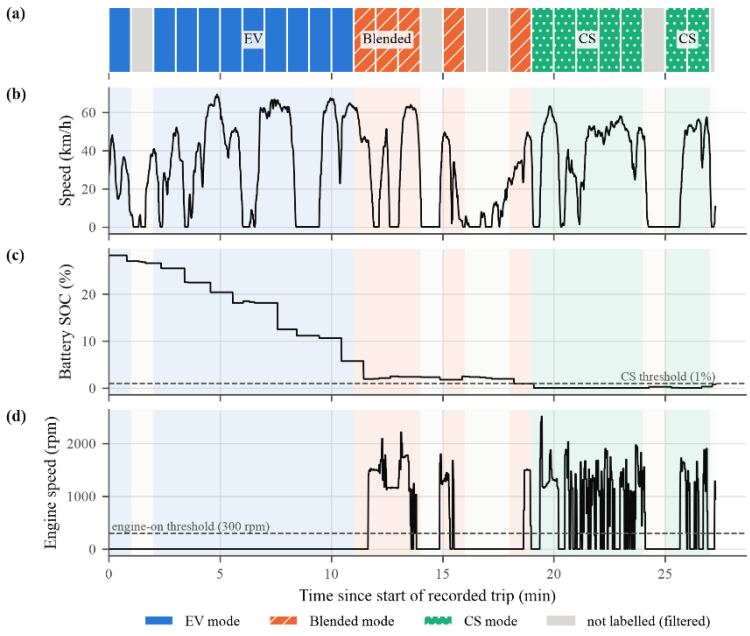


Figure 1. Mode labelling for an example trip (2.0L group): (a) modes assigned to the 60 s windows; (b) vehicle speed; (c) battery SOC with the CS threshold; (d) engine speed with the engine-on threshold.

The labelling yielded 28,750 segments. In a physical check (Table 2), EV-mode segments in the three analysed powertrain groups used 10.2–18.2 kWh/100 km of net battery energy with near-zero fuel consumption (0.0 L/100 km after rounding), and CS-mode segments used 4.5–8.0 L/100 km of fuel.

2.4. Decomposition

Segments were assigned to a cold temperature class (mean ambient temperature ≤ 0 °C) or a warm temperature class (> 20 °C); segments with intermediate temperatures were not used in the decomposition. Within each powertrain group, the segments of all vehicles were pooled, and the distance share s_m and the energy intensity e_m (kWh/100 km) were computed for each temperature class and mode m. Because shares and intensities were computed from summed distance and energy, the powertrain-group results are distance-weighted: vehicles that contributed more distance are weighted more heavily. The powertrain-group intensity is

$$E = \sum_m s_m \, e_m \tag{1}$$

The relative increase in energy consumption per unit distance under cold conditions compared with warm conditions,

$$P = \frac{E_c - E_w}{E_w} \tag{2}$$

is hereafter referred to as the cold-weather energy penalty, where w and c denote the warm and cold temperature classes. The change $E_c - E_w$ was decomposed into a within-mode component and a mode-shift component. In the asymmetric form, which was used as the main specification, the components are

$$\Delta E_{\text{within}} = \sum_m s_{m,w} \, (e_{m,c} - e_{m,w}) \tag{3}$$

$$\Delta E_{\text{shift}} = \sum_m (s_{m,c} - s_{m,w}) \, e_{m,c} \tag{4}$$

In the symmetric form, both components use the average of the warm and cold weights:

$$\Delta E_{\text{within}} = \sum_m \frac{1}{2}(s_{m,w} + s_{m,c})(e_{m,c} - e_{m,w}) \tag{5}$$

$$\Delta E_{\text{shift}} = \sum_m (s_{m,c} - s_{m,w}) \, \frac{1}{2}(e_{m,c} + e_{m,w}) \tag{6}$$

In both forms, the two components sum exactly to $E_c - E_w$. All components are reported as percentages of E_w. When a mode was absent from one temperature class, its intensity in that class was set to its value in the other class.

Table 2. Physical check of the labelled modes by powertrain group.

Group	Mode	Segments	Vehicles	Distance (km)	Mean speed (km/h)	Engine-on time (%)	Fuel (L/100 km)	Battery net (kWh/100 km)	Total, k = 1 (kWh/100 km)
1.4L	Blended	647	10	504.6	47.8	63.9	6.4	5.3	65.6
1.4L	CS	1,181	9	844.5	43.8	56.5	8.0	−3.2	73.9
1.4L	EV	5,449	10	4,080.2	45.9	0.0	0.0	18.2	18.5
1.5L	Blended	15	2	11.2	45.3	64.6	5.1	11.5	58.3
1.5L	CS	71	2	52.0	45.4	54.6	7.3	−2.0	67.9
1.5L	EV	1,164	2	684.3	35.8	0.0	0.0	13.6	14.1
1.8L	Blended	2,620	2	1,747.8	40.7	46.1	4.4	1.3	41.9
1.8L	CS	3,286	3	1,998.8	37.0	39.5	4.5	−0.9	41.2
1.8L	EV	1,817	3	1,020.5	34.5	0.1	0.0	10.2	11.3

2.0L	Blended	1,629	8	1,205.5	45.0	56.3	5.2	7.7	55.4
2.0L	CS	3,141	9	2,318.1	45.0	44.2	5.6	−0.5	52.1
2.0L	EV	7,730	9	5,417.7	42.6	0.0	0.0	17.2	17.5

2.5. Robustness checks and vehicle-level bootstrap

The decomposition was repeated under eight variations. (i) The labelling thresholds were varied in 81 combinations: window length 30/60/120 s, engine-on threshold 300/500/800 rpm, CS SOC threshold 1/2/5% and EV engine-on share 2/5/10%; the minimum segment duration was set to 50% of the window, and the minimum distance was scaled with window length. (ii) Asymmetric and symmetric weights were compared. (iii) Minimum average speeds of 0, 5 and 12 km/h were applied. (iv) Six combinations of temperature bounds were used (cold temperature class ≤ −5, ≤ 0 or ≤ 5 °C; warm temperature class > 15 or > 20 °C). (v) The decomposition was repeated within average-speed classes (< 30, 30–60 and > 60 km/h) and with the distance of the cold temperature class reweighted to the speed distribution of the warm temperature class. (vi) Fuel energy and battery energy were reported separately. (vii) The hypothetical electricity weight was set to k = 1, 1.5, 2, 2.5 and 3. (viii) Two modes were used instead of three, with the Blended and CS modes merged into a single engine-on mode.

Uncertainty was estimated with a vehicle-level bootstrap: within each powertrain group, vehicles were resampled with replacement 2,000 times, and 95% confidence intervals were obtained from the 2.5th and 97.5th percentiles. The same resamples were used for all values of k. The 1.8L group comprises three vehicles, which allows only 10 distinct resamples, and 74 of its 2,000 resamples contained no data in the cold temperature class; no confidence interval is therefore reported for this group.

3. RESULTS

3.1. Mode shares by temperature class

Figure 2 shows the distance shares of the three modes by ambient temperature class. The share of EV mode was 82.1% above 20 °C and 51.8% at or below 0 °C in the 1.4L group (Figure 2a), 67.4% and 43.5% in the 2.0L group (Figure 2c), and 28.0% and 6.3% in the 1.8L group (Figure 2b).

The distance not driven in EV mode was covered by the Blended and CS modes. In the 1.8L group, the data at or below 0 °C were obtained from two of the three vehicles.

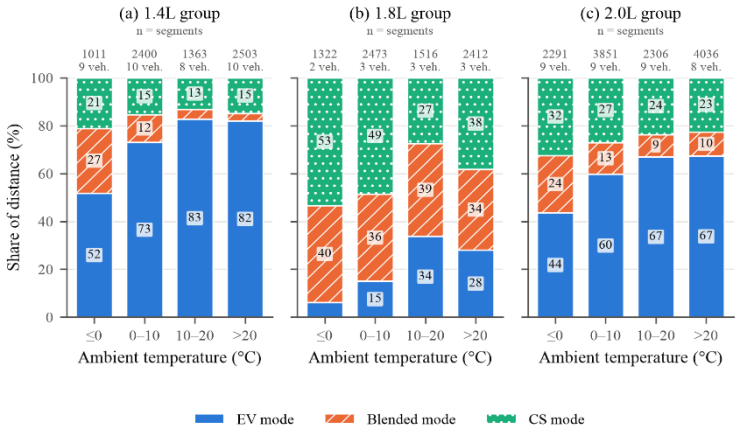


Figure 2. Distance shares of EV, Blended and CS modes by ambient temperature class: (a) 1.4L, (b) 1.8L and (c) 2.0L group. Labels give the numbers of segments and vehicles.

3.2. Within-mode energy intensity

Figure 3 compares the energy intensity of each mode in the warm and cold temperature classes. The energy intensity of EV mode (warm vs cold) was higher in the cold temperature class in the 1.4L group (16.3 vs 24.1 kWh/100 km; Figure 3a) and the 2.0L group (14.5 vs 23.0 kWh/100

km; Figure 3c). In the 1.8L group, it was similar in the two temperature classes (10.9 vs 10.5 kWh/100 km; Figure 3b). The energy intensity of CS mode was also higher in the cold temperature class: 69.2 vs 83.5 kWh/100 km in the 1.4L group, 37.2 vs 46.9 kWh/100 km in the 1.8L group and 49.2 vs 58.1 kWh/100 km in the 2.0L group. The same applied to Blended mode in the 1.8L group (38.8 vs 51.9 kWh/100 km) and the 2.0L group (49.4 vs 62.3 kWh/100 km).

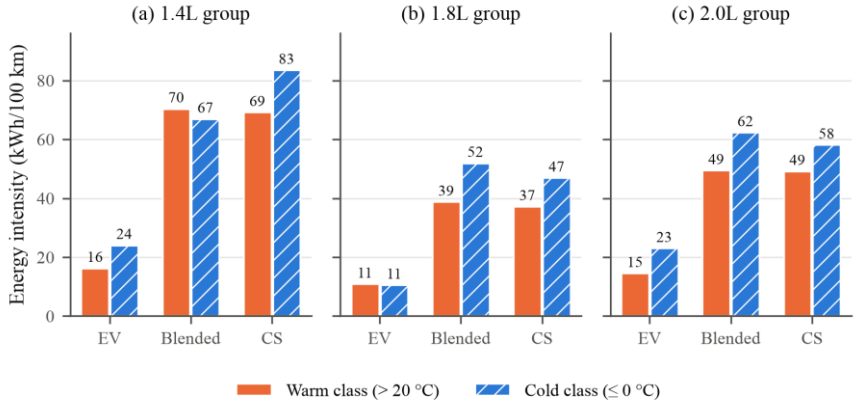


Figure 3. Energy intensity by mode in the warm and cold temperature classes: (a) 1.4L, (b) 1.8L and (c) 2.0L group.

The Blended mode of the 1.4L group is an exception: its energy intensity in the warm temperature class (70.4 kWh/100 km) was above that in the cold temperature class (66.9 kWh/100 km). The warm-class value is based on 77 segments and 59.8 km, which corresponds to 3.1% of the group's distance in the warm temperature class, and should be interpreted as imprecise. In the 1.8L group, the Blended-mode and CS-mode segments in the warm temperature class were obtained from two vehicles.

3.3. Decomposition at k = 1

Compared with the warm temperature class (> 20 °C), energy consumption per kilometre in the cold temperature class (≤ 0 °C) was 87.1% higher in the 1.4L group (95% confidence interval: 63.2–110.3%), 69.7% higher in the 2.0L group (40.2–94.0%) and 53.8% higher in the 1.8L group (Figure 4). In absolute terms, energy consumption increased from 25.8 to 48.2 kWh/100 km in the 1.4L group, from 25.8 to 43.8 kWh/100 km in the 2.0L group and from 30.3 to 46.7 kWh/100 km in the 1.8L group.

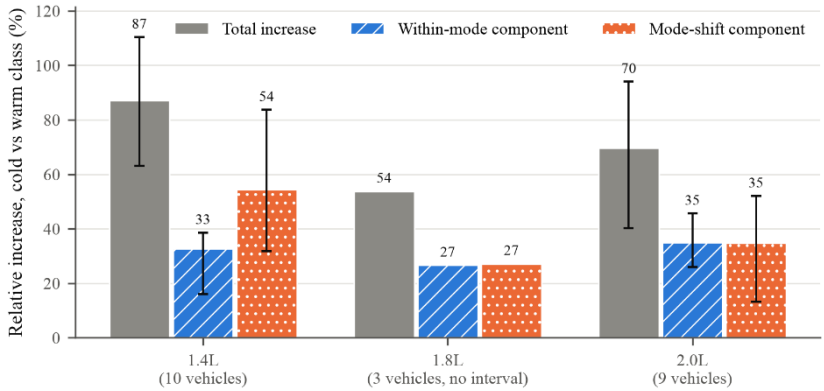


Figure 4. Cold-weather energy penalty and its within-mode and mode-shift components (asymmetric weights). Error bars: 95% vehicle-level bootstrap confidence intervals (not shown for the 1.8L group).

With asymmetric weights, the mode-shift component was 54.4% of warm-class energy in the 1.4L group (31.8–83.7%) and 34.7% in the 2.0L group (13.2–52.0%); the within-mode component was 32.7% (16.0–38.6%) and 34.9% (26.0–45.6%), respectively. A substantial part of the increase (47.9–81.7% in the 1.4L group and 31.5–57.4% in the 2.0L group; 95% vehicle-level bootstrap confidence intervals; point estimates 62.5% and 49.9%) was therefore attributable to the mode-shift component. In the 1.8L group, the within-mode component was 26.6% and the mode-shift component 27.2%.

With symmetric weights, the within-mode component was 28.3% in the 1.4L group, 36.2% in the 2.0L group and 30.6% in the 1.8L group; the corresponding mode-shift components were 58.8%, 33.5% and 23.2%. In the 1.4L group, whether the mode-shift component exceeded the within-mode component depended on the decomposition weights. The difference between the two components was 21.7 percentage points with asymmetric weights (95% confidence interval: −2.9 to 60.6, including zero) and 30.6 percentage points with symmetric weights (2.5 to 91.9, excluding zero). In the 2.0L group, the two components were of similar magnitude: the difference was −0.2 percentage points (−16.5 to 13.2) with asymmetric weights and −2.8 percentage points (−18.0 to 10.7) with symmetric weights. In the 1.8L group, the two components were similar with asymmetric weights, whereas with symmetric weights the within-mode component was larger.

Most of the per-kilometre increase in energy consumption originated from fuel. In the 1.4L group, fuel (at its lower heating value) accounted for 20.6 kWh/100 km (91.9%) of the 22.4 kWh/100 km increase; in the 2.0L group, it accounted for 15.3 kWh/100 km (85.1%) of the 18.0 kWh/100 km increase. The remainder was battery discharge. In the 1.8L group, battery discharge decreased in the cold temperature class (−2.3 kWh/100 km).

The results varied between vehicles: of the 19 vehicles with data in both temperature classes, the mode-shift component was positive for 16, zero for one vehicle that was driven only in EV mode in both classes and negative for two vehicles whose EV-mode share was higher in the cold than in the warm temperature class. Across vehicles, it ranged from −34.0% to 115.1%.

3.4. Dependence on the energy metric

Figure 5 shows how the share of the mode-shift component in the total increase changes when battery discharge is weighted by the hypothetical factor k. As k increased from 1 to 3, this share decreased in the 1.4L group from 62.5% to 17.0% with asymmetric weights (Figure 5a) and from 67.5% to 26.0% with symmetric weights (Figure 5b). In the 2.0L group, it decreased from 49.9% to 7.3% and from 48.0% to 11.2%, respectively. Over the same range, the total increase fell from 87.1% to 48.6% in the 1.4L group and from 69.7% to 49.2% in the 2.0L group.

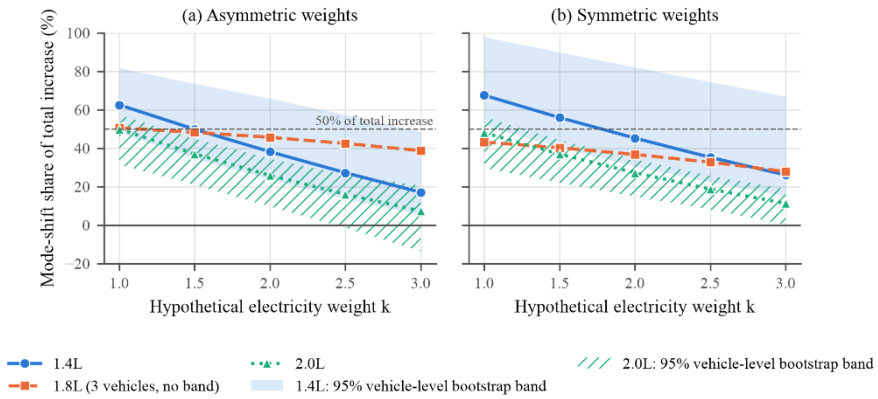


Figure 5. Share of the mode-shift component in the total increase as a function of the electricity weight k (Section 2.2): (a) asymmetric and (b) symmetric weights. Bands: 95% vehicle-level bootstrap confidence intervals (1.4L and 2.0L groups).

The rate at which the share decreased depended on the energy intensity of EV mode in the cold temperature class relative to that of the Blended and CS modes. In the 1.4L group, the cold-class energy intensity of EV mode increased from 24.1 kWh/100 km at k = 1 to 72.2 kWh/100 km at k = 3 and approached that of CS mode (90.0 kWh/100 km at k = 3); in the 2.0L group, it exceeded that of CS mode at k = 3 (69.0 vs 62.5 kWh/100 km). In the 1.8L group, it remained below that of the Blended and CS modes (31.3 vs 50.0–56.7 kWh/100 km at k = 3), and the share changed less (from 50.5% to 38.7%).

The point estimates of the mode-shift component remained positive for all k up to 3 in all powertrain groups. With asymmetric weights, the lower bound of the vehicle-level bootstrap confidence interval for the mode-shift component remained above zero in the 1.4L group (2.4% at k = 3). In the 2.0L group, the 95% confidence interval included zero from k = 2.5 onwards (lower bound: −0.8% at k = 2.5 and −7.0% at k = 3). These values refer to the mode-shift component as a percentage of E_w, not to its share in the total increase shown in Figure 5. The size of the mode-shift component therefore depends strongly on the energy metric; the values reported in Section 3.3 apply to k = 1.

3.5. Robustness summary

Table 3 summarises the robustness checks. The point estimate of the mode-shift component remained positive in every check, including all 81 labelling-threshold combinations, all six combinations of temperature bounds, the speed classes and the standardised speed distribution. Across the temperature bounds, its share in the total increase ranged from 46.5% to 64.3% across the three groups (Table 3), whereas the magnitude of the increase depended on the position of the cold bound. Including segments with an average speed of 12 km/h or less (1.8–3.6% of distance) raised the relative increase by 3.6 to 4.0 percentage points, mainly in the within-mode component, and reweighting the cold temperature class to the speed distribution of the warm temperature class changed it by at most 2.9 percentage points. For the 1.8L group, the bootstrap row of Table 3 gives the range of the resampled estimates; because the group comprises three vehicles and allows only ten distinct resamples, this range is not a confidence interval (Section 2.5).

Table 3. Summary of the robustness checks: range of the mode-shift component (% of warm-class energy consumption, E_w) and, in parentheses, its share of the total increase (%), by powertrain group.

Check	Variation	n	1.4L	1.8L	2.0L
Labelling thresholds	Window-proportional segment filter	81	50.3–54.6 (56.8–66.3)	19.3–32.2 (35.0–63.5)	33.4–35.6 (47.2–54.3)
Labelling thresholds (fixed filter)	Fixed 30 s / 0.2 km segment filter	81	51.6–54.7 (56.6–64.6)	19.7–31.8 (35.2–67.0)	32.4–35.4 (47.0–54.3)
Decomposition weights	Asymmetric vs symmetric	2	54.4–58.8 (62.5–67.5)	23.2–27.2 (43.1–50.5)	33.5–34.7 (48.0–49.9)
Minimum speed filter	0, 5, 12 km/h	3	53.3–54.8 (58.7–62.5)	27.2–28.2 (48.9–50.5)	34.7–35.0 (47.6–49.9)
Temperature classes	Cold ≤ −5/0/5 °C; warm > 15/20 °C	6	33.5–77.6 (55.5–64.3)	19.9–37.0 (46.6–55.6)	24.8–44.2 (46.5–52.0)
Speed-distribution standardisation	Raw vs speed-reweighted	2	52.8–54.4 (62.5–62.7)	27.2–27.3 (50.5–52.1)	34.7–35.4 (49.9–50.6)
Speed classes	< 30, 30–60, > 60 km/h	3	45.7–65.9 (55.6–64.4)	13.3–39.1 (43.4–84.3)	25.1–42.5 (47.9–53.5)
Electricity weight k (hypothetical)	k = 1, 1.5, 2, 2.5, 3	5	8.3–54.4 (17.0–62.5)	11.3–27.2 (38.7–50.5)	3.6–34.7 (7.3–49.9)
Two modes (EV mode vs engine-on mode)	Blended and CS modes merged; k = 1	2	58.9–60.6 (67.6–69.6)	23.5–27.6 (43.7–51.4)	33.1–34.1 (47.5–48.9)
Vehicle-level bootstrap 95% confidence interval	2,000 resamples (interval bounds shown)	2,000	31.8–83.7 (47.9–81.7)	6.9–40.0 (37.1–65.3)	13.2–52.0 (31.5–57.4)

Merging the Blended and CS modes into a single engine-on mode changed the mode-shift component only slightly in the 1.8L group (from 27.2% to 27.6%) and the 2.0L group (from 34.7% to 34.1%), and increased it in the 1.4L group (from 54.4% to 58.9%). The division between the Blended and CS modes therefore did not determine the result in the 1.8L and 2.0L groups.

4. DISCUSSION

The findings are discussed below together with earlier work. The magnitudes of the cold-weather effects are not compared directly with those reported in earlier studies, because the cited studies use different metrics, temperature ranges and test conditions, and because cold starts are at most partly represented in the present data.

4.1. Interpretation of the within-mode component

The within-mode component reflects the change in the energy intensity of the individual modes between the two temperature classes, which in most cases was an increase in the cold temperature class (Section 3.2; Figure 3). With asymmetric weights, it ranged from 26.6% to 34.9% of E_w across the three powertrain groups (Section 3.3). The energy intensity of CS mode was higher in the cold temperature class in all three groups. Higher energy consumption in charge-sustaining operation at low temperatures has also been reported in laboratory and on-road tests (An et al., 2025; Lohse-Busch et al., 2013; Ribberink et al., 2015). The higher energy intensity of EV mode in the cold temperature class in the 1.4L and 2.0L groups is consistent with the increased energy demand for cabin heating reported in chassis dynamometer measurements (Suarez-Bertoa et al., 2019) and in on-road measurements of a single PHEV (Ansari et al., 2024). Because heater power could not be used (Section 2.2), the contribution of cabin heating could not be quantified with these data. The similar energy intensity of EV mode in the two temperature classes in the 1.8L group is not interpreted further, because of the small number of vehicles in this group (Section 4.4).

4.2. Interpretation of the mode-shift component

In these data, the mode-shift component reflects the lower share of distance driven in EV mode in the cold temperature class (Figure 2), valued at the energy intensity of the modes that replace it. Two groups of mechanisms can produce this shift. The first relates to the vehicle's response to low ambient temperature: the engine may be started to provide cabin heating (Lohse-Busch et al., 2013; Ribberink et al., 2015), and the usable battery energy may be reduced at low temperature, both of which shorten the distance available in EV mode. A reduced electric range and a shorter pure-electric operation at −7 °C have been reported in chassis dynamometer tests (Suarez-Bertoa et al., 2019). Engine operation in charge-depleting modes at low temperatures has been reported in on-road tests of a single PHEV (Ansari et al., 2024), and a substantial reduction in electric range and an increased reliance on the combustion engine have been reported in laboratory tests of eight PHEVs under demanding conditions, including low ambient temperature and cabin heating (Sandoval Guzmán et al., 2025).

The second relates to user behaviour: charging less often in winter would deplete the battery earlier in a trip, and cold-weather trips may differ in length from warm-weather trips, which would also change the distance share of each mode. The speed-distribution standardisation (Section 3.5) reweights segments by average speed but does not control for trip length. Limited charging has been associated with higher real-world consumption of PHEVs (Plötz et al., 2020; Tansini et al., 2025). VED does not record charging events, and the two groups of mechanisms cannot be separated with these data; the mode-shift component should therefore be interpreted as their combined effect. Because the beginnings of trips are masked, operating modes at the start of trips, including possible engine starts for cabin heating, are at most partly observed.

The negative mode-shift component of two vehicles (Section 3.3) would be expected if charging behaviour differs between users, but the data do not identify its cause.

4.3. Dependence on the energy metric

Under k = 1, the lower bound for the weight of electricity (Section 2.2), the energy intensity of EV mode is lower than that of the Blended and CS modes, and, with asymmetric weights, up to 62.5% of the increase is attributed to the mode-shift component (Section 3.3; Figure 5a). As the weight of electricity increases, the difference between EV mode and the Blended and CS modes becomes smaller, in particular because the energy intensity of EV mode itself increases in cold conditions in the 1.4L and 2.0L groups (Figure 3). TTW energy therefore attributes a larger share of the increase to the mode-shift component than metrics that weight electricity more heavily. In the 2.0L group at k = 3, the cold-class energy intensity of EV mode exceeded that of CS mode, the mode-shift component became small (3.6% of E_w) and its 95% confidence interval included zero (Section 3.4).

For comparison, An et al. (2025) applied three electricity-to-fuel conversion methods from a Chinese national standard to PHEV test results, with coefficients of 0.1161, 0.2120 and 0.22 L of gasoline per kWh of electricity. At the fuel lower heating value used here, these correspond to approximately 1.0, 1.9 and 2.0 kWh of fuel energy per kWh of electricity, within the range of k considered in this study; whether they refer to grid electricity or battery discharge is not stated in the source. The US fuel economy label treats 33.705 kWh of electricity as equivalent to one gallon of gasoline (U.S. Environmental Protection Agency [EPA] & National Highway Traffic Safety Administration [NHTSA], 2011, p. 39526), which corresponds to the 8.9 kWh/L used here for k = 1; because the label measures electricity at the outlet, including charging losses (EPA & NHTSA, 2011, p. 39486), the corresponding weight for battery discharge is greater than 1. Directive (EU) 2023/1791 sets a default coefficient of 1.9 for converting savings in electricity into primary energy savings (European Parliament & Council of the European

Union, 2023, Art. 31(3)), although it is defined for energy-savings accounting rather than for vehicles; the corresponding value of k would be lower if a factor greater than 1 were applied to fuel and higher once charging losses were taken into account (Section 2.2). For two Chevrolet Volts tested on fixed on-road routes, the AC grid electricity required in charge-depleting mode to replace one litre of gasoline used in charge-sustaining mode was 2–3.5 kWh/L in summer and 3–9 kWh/L in winter, compared with roughly 9 kWh per litre of gasoline (Ribberink et al., 2015).

The dependence on the energy metric has implications for assessments based on the utility factor. Such assessments combine the share of distance driven in charge-depleting operation with mode-specific energy or emission values (Duoba & Pulpeiro González, 2026; Sandoval Guzmán et al., 2026). In the 1.4L and 2.0L groups, the results suggest that, in cold conditions, a lower EV-mode share and a higher energy intensity of EV mode occur together. This pairing was not observed in the 1.8L group (Figure 3). Where the pairing holds, the energy benefit of the remaining EV-mode driving depends on the factor applied to electricity. Temperature effects on the utility factor and on mode-specific energy intensity should therefore be considered jointly, and the energy metric should be stated. As noted in Section 2.3, the EV-mode share reported here is not equivalent to the utility factor.

4.4. Limitations and future work

Three limitations should be noted. First, the privacy processing of VED masks the beginning and end of each trip and removes driving outside Ann Arbor (Section 2.1), so cold starts are at most partly represented and the cold-weather energy penalty is likely to be underestimated. Because engine operation at the start of a trip could contribute to both the within-mode and the mode-shift component, the direction of the effect on the share of the mode-shift component cannot be determined from these data; the effect of the missing rural driving is also unclear. The data also cover a single city between November 2017 and November 2018, which limits generalisation to other climates, vehicle generations and user groups. Second, fuel consumption is derived from different signals in the two pairs of powertrain groups and should be compared between them with caution, and the interpretation of SOC = 0 as depletion of the usable battery energy is an undocumented inference (Section 2.2). Third, the bootstrap intervals are based on nine and ten vehicles and may understate the uncertainty, and the results for the 1.8L group (three vehicles) are descriptive. Future work should repeat the decomposition with sourced primary-energy factors and charging efficiencies, which together determine the hypothetical weight k (Section 2.2), and complement the powertrain-group analysis with vehicle- and trip-level models that control for speed, trip characteristics and vehicle, validated with cross-validation grouped by vehicle. Data that include charging events would allow the contribution of charging behaviour to the mode-shift component to be separated from that of the control strategy.

5. CONCLUSIONS

The cold-weather energy penalty of PHEVs in naturalistic driving data was decomposed into within-mode and mode-shift components. Based on TTW energy, energy consumption per kilometre at or below 0 °C was 87.1% higher in the 1.4L group and 69.7% higher in the 2.0L group than above 20 °C, and a substantial part of this increase (47.9–81.7% and 31.5–57.4%, respectively; 95% vehicle-level bootstrap confidence intervals) was attributable to the mode-shift component, which remained positive across the labelling thresholds, temperature bounds and speed controls examined. In the 1.4L group, whether it exceeds the within-mode component depends on the decomposition weights; in the 2.0L group, the two components are of similar magnitude; the results for the 1.8L group (three vehicles) are descriptive. The decomposition depends strongly on the energy metric: because the energy intensity of EV mode also increases

in cold conditions in the 1.4L and 2.0L groups, the share of the mode-shift component decreases as electricity is weighted more heavily. On a fuel lower-heating-value basis, k = 1 is a lower bound for this weight, because battery discharge excludes charging losses; when upstream energy is included, it also depends on primary-energy factors and the charging efficiency. Studies of the cold-weather energy penalty should therefore state the energy metric used.

DATA AVAILABILITY

The *Vehicle Energy Dataset* (VED) is publicly available at https://github.com/gsoh/VED under the Apache License 2.0.

ACKNOWLEDGEMENTS

The author thanks the authors of the *Vehicle Energy Dataset* for collecting and publishing the underlying driving data.

REFERENCES

An, X., Cui, C., Wen, Y., & Zhou, L. (2025). Analysis of energy consumption and driving range in plug-in hybrid electric vehicles under low-temperature conditions. In *2025 4th International Symposium on New Energy Technology Innovation and Low Carbon Development (NET-LC)* (pp. 262–265). IEEE. https://doi.org/10.1109/NET-LC65482.2025.11070756

Ansari, A., Abediasl, H., & Shahbakhti, M. (2024). Ambient temperature effects on energy consumption and CO_2 emissions of a plug-in hybrid electric vehicle. *Energies, 17*(14), 3566. https://doi.org/10.3390/en17143566

Dauphin, R., Prevost, V., Degeilh, P., Melgar, J., Fittavolini, C., Smith, A., Callu, C., Chrysafi, S., Uitz-Choi, R., & Kar, K. (2023). Evaluation of plug-in hybrid vehicles in real-world conditions by simulation. *Transportation Research Part D: Transport and Environment, 119*, 103721. https://doi.org/10.1016/j.trd.2023.103721

Duoba, M., & Pulpeiro González, J. (2026). Modeling real-world charging behavior to update SAE J2841 PHEV utility factors. *World Electric Vehicle Journal, 17*(5), 242. https://doi.org/10.3390/wevj17050242

European Parliament & Council of the European Union. (2023). Directive (EU) 2023/1791 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on energy efficiency and amending Regulation (EU) 2023/955 (recast). *Official Journal of the European Union*, L 231, 1–111. http://data.europa.eu/eli/dir/2023/1791/oj

Humphries, K., Veenendaal, J., Kanmaz, K., & Loiselle-Lapointe, A. (2022). *Plug-in hybrid vehicle thermal management and system operation in real-world conditions* (SAE Technical Paper 2022-01-0677). SAE International. https://doi.org/10.4271/2022-01-0677

Isenstadt, A., Yang, Z., Searle, S., & German, J. (2022). *Real world usage of plug-in hybrid vehicles in the United States* [White paper]. International Council on Clean Transportation. https://theicct.org/wp-content/uploads/2022/12/real-world-phev-us-dec22.pdf

Jeong, J. W., Lee, G., Lee, J., Woo, S., Kim, N., & Lee, K. (2026). Analysis of energy consumption and emissions characteristics of plug-in hybrid electric vehicle (PHEV) under various real-world driving conditions. *Journal of Environmental Sciences, 163*, 566–574. https://doi.org/10.1016/j.jes.2025.11.033

Lohse-Busch, H., Duoba, M., Rask, E., Stutenberg, K., Gowri, V., Slezak, L., & Anderson, D. (2013). *Ambient temperature (20°F, 72°F and 95°F) impact on fuel and energy consumption for several conventional vehicles, hybrid and plug-in hybrid electric vehicles and battery electric vehicle* (SAE Technical Paper 2013-01-1462). SAE International. https://doi.org/10.4271/2013-01-1462

Oh, G., LeBlanc, D. J., & Peng, H. (2022). Vehicle Energy Dataset (VED), a large-scale dataset for vehicle energy consumption research. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 23*(4), 3302–3312. https://doi.org/10.1109/TITS.2020.3035596

Plötz, P., & Gnann, T. (2025). *Real-world fuel consumption and potential future regulation of plug-in hybrid electric vehicles in Europe – An empirical analysis of about one million vehicles* (Ariadne Analysis). Kopernikus-Projekt Ariadne, Potsdam-Institut für Klimafolgenforschung. https://doi.org/10.48485/pik.2025.23

Plötz, P., Moll, C., Bieker, G., Mock, P., & Li, Y. (2020). *Real-world usage of plug-in hybrid electric vehicles: Fuel consumption, electric driving, and CO_2 emissions* [White paper]. International Council on Clean Transportation. https://theicct.org/sites/default/files/publications/PHEV-white%20paper-sept2020-0.pdf

Ribberink, H., Loiselle-Lapointe, A., & Conde, A. (2015). Chevrolet Volt on-road test programs in Canada. Part 2: Evaluation of gasoline displacement and extreme weather performance in comparison with other vehicles types. *World Electric Vehicle Journal, 7*(1), 154–165. https://doi.org/10.3390/wevj7010154

Sandoval Guzmán, B., Asikainen, E., Huber, M., Zimmermann, P., Bach, C., & Elser, M. (2026). Utility factor frameworks for plug-in hybrid electric vehicles: A comparative assessment. *Transportation Research Part D: Transport and Environment, 150*, 105098. https://doi.org/10.1016/j.trd.2025.105098

Sandoval Guzmán, B., Huber, M., Zimmermann, P., Zeps, B., Bach, C., & Elser, M. (2025). Environmental performance of plug-in hybrid electric vehicles: Impacts of driving cycles, ambient temperature, and auxiliary loads. *Atmospheric Environment: X, 28*, 100393. https://doi.org/10.1016/j.aeaoa.2025.100393

Suarez-Bertoa, R., Pavlovic, J., Trentadue, G., Otura-Garcia, M., Tansini, A., Ciuffo, B., & Astorga, C. (2019). Effect of low ambient temperature on emissions and electric range of plug-in hybrid electric vehicles. *ACS Omega, 4*(2), 3159–3168. https://doi.org/10.1021/acsomega.8b02459

Tansini, A., Marin, A. L., Suarez, J., Aguirre, N. F., & Fontaras, G. (2025). Learning from the real-world: Insights on light-vehicle efficiency and CO_2 emissions from long-term on-board fuel and energy consumption data collection. *Energy Conversion and Management, 335*, 119816. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2025.119816

Tansini, A., Pavlovic, J., & Fontaras, G. (2022). Quantifying the real-world CO_2 emissions and energy consumption of modern plug-in hybrid vehicles. *Journal of Cleaner Production, 362*, 132191. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132191

U.S. Environmental Protection Agency & National Highway Traffic Safety Administration. (2011). Revisions and additions to motor vehicle fuel economy label. *Federal Register, 76*(129), 39478–39587. https://www.federalregister.gov/documents/2011/07/06/2011-14291/revisions-and-additions-to-motor-vehicle-fuel-economy-label

Zhang, S., Fatih, D., Abdulqadir, F., Schwarz, T., & Ma, X. (2025). Extended Vehicle Energy Dataset (eVED): An enhanced large-scale dataset for vehicle energy consumption analysis. In *2025 IEEE 101st Vehicular Technology Conference (VTC2025-Spring)* (pp. 1–7). IEEE. https://doi.org/10.1109/VTC2025-Spring65109.2025.11174415

Zhang, X., Chen, Z., & Fang, X. (2025). DLLT: A dual-layer LSTM-transformer model for real-time energy and dynamics prediction in plug-in hybrid electric vehicles. *PLOS ONE, 20*(11), e0335542. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0335542

TKS VERİLERİNDEN TALASEMİ VE HEMOGLOBİNOPATİ ÖRÜNTÜLERİNİN SINIFLANDIRILMASINDA RASTGELE AŞIRI ÖRNEKLEME VE META-SEZGİSEL ÖZNİTELİK SEÇİMİ

Arş. Gör. Mert BASANÇELEBİ
Zonguldak Bülent Ecevit University, Department of Electrical and Electronics Engineering, 67100 Zonguldak
ORCID ID: 0009-0003-4611-3326
Dr. Öğr. Üyesi İrem ŞENYER YAPICI
Zonguldak Bülent Ecevit University, Department of Computer Engineering, 67100 Zonguldak
ORCID ID: 0000-0003-0655-340X
Doç. Dr. Rukiye UZUN ARSLAN
Zonguldak Bülent Ecevit University, Department of Electrical and Electronics Engineering, 67100 Zonguldak
ORCID ID: 0000-0002-2082-8695

ÖZET
Talasemi ve hemoglobinopatilerin erken dönemde belirlenmesi, hastaların uygun tanı süreçlerine yönlendirilmesi açısından önem taşımaktadır. Bu çalışmada, Tam Kan Sayımı (TKS) verileri kullanılarak dört farklı hematolojik sınıfın makine öğrenmesi yöntemleri ile sınıflandırılması amaçlanmıştır. Çalışmada 5778 bireye ait 21 özellikten oluşan bir veri kümesi kullanılmıştır. Veri kümesindeki sınıf dengesizliğinin eğitim süreci üzerindeki etkisini azaltmak amacıyla Rastgele Aşırı Örnekleme (Random Over Sampling, ROS) yöntemi kullanılmıştır. Öznitelik seçimi aşamasında Yarasa Algoritması (Bat Algorithm, BA) ve Ateşböceği Algoritması (Firefly Algorithm, FA) kullanılarak her yöntem için 10 öznitelikten oluşan bir alt küme belirlenmiştir. Seçilen öznitelikler K-En Yakın Komşu, Karar Ağacı, Destek Vektör Makineleri, Rastgele Orman (RO) ve XGBoost algoritmaları ile değerlendirilmiştir. Modellerin performansları doğruluk, makro duyarlılık, makro F1-skoru, özgüllük, yanlış pozitif oranı, Matthews Korelasyon Katsayısı (MCC) ve Cohen's Kappa metrikleri kullanılarak değerlendirilmiştir. BA ile seçilen öznitelikler kullanıldığında en yüksek doğruluk 0,795 ile RO modelinde elde edilirken, FA ile seçilen özniteliklerde aynı model 0,799 doğruluk değerine ulaşmıştır. RO modeli, BA ile seçilen özniteliklerde 0,665 makro duyarlılık, 0,678 makro F1-skoru ve 0,659 MCC; FA ile seçilen özniteliklerde ise 0,663 makro duyarlılık, 0,682 makro F1-skoru ve 0,664 MCC değerleri vermiştir. İki öznitelik seçim yöntemi ile elde edilen sonuçların genel olarak birbirine yakın olduğu görülmüştür. Elde edilen bulgular, incelenen veri kümesi kapsamında ROS ile sınıf dengeleme ve meta-sezgisel öznitelik seçiminin birlikte kullanımının TKS verilerine dayalı sınıflandırmada değerlendirilebilecek bir yaklaşım olduğuna işaret etmektedir.
Anahtar kelimeler: Talasemi, makine öğrenmesi, öznitelik seçimi, ateşböceği algoritması, yarasa algoritması

CLASSIFICATION OF THALASSEMIA- and HEMOGLOBINOPATHY-RELATED PATTERNS FROM CBC DATA USING RANDOM OVERSAMPLING AND METAHEURISTIC FEATURE SELECTION

ABSTRACT
Early identification of thalassemia and hemoglobinopathies is important for directing patients to appropriate diagnostic processes. This study aimed to classify four different hematological classes using Complete Blood Count (CBC) data and machine learning methods. A dataset consisting of 21 features from 5,778 individuals was used in the study. To reduce the effect of class imbalance during model training, Random Over Sampling (ROS) was applied to the training data. In the feature selection stage, the Bat Algorithm (BA) and Firefly Algorithm (FA) were used to identify a subset of 10 features for each method. The selected features were evaluated using K-Nearest Neighbors, Decision Tree, Support Vector Machines, Random Forest (RF), and XGBoost algorithms. Model performance was evaluated using accuracy, macro recall, macro F1-score, specificity, false positive rate, Matthews Correlation Coefficient (MCC), and Cohen's Kappa. When the features selected by BA were used, the highest accuracy was obtained with the RF model at 0.795, whereas the same model achieved an accuracy of 0.799 with the features selected by FA. The RF model yielded a macro recall of 0.665, a macro F1-score of 0.678, and an MCC of 0.659 with the BA-selected features, while the corresponding values with the FA-selected features were 0.663, 0.682, and 0.664, respectively. Overall, the results obtained with the two feature selection methods were relatively close. The findings suggest that the combined use of ROS and metaheuristic feature selection may contribute to the classification of thalassemia- and hemoglobinopathy-related patterns from CBC data in the examined dataset.
Keywords: Thalassemia, machine learning, feature selection, firefly algorithm, bat algorithm

1. GİRİŞ
Talasemi ve diğer hemoglobin bozuklukları, hemoglobinin üretimini veya yapısını etkileyen kalıtsal hastalıklar arasında yer almaktadır. Bu hastalıkların erken dönemde belirlenmesi, hastaların uygun klinik değerlendirme ve ileri tanı süreçlerine yönlendirilmesi açısından önem taşımaktadır. Tanı sürecinde hemoglobin elektroforezi ve genetik analizler gibi ileri yöntemlerden yararlanılmaktadır. Bununla birlikte bu yöntemlerin maliyetli olması ve her sağlık merkezinde bulunmaması, daha erişilebilir testlerden yararlanabilecek ön değerlendirme yaklaşımlarına olan ihtiyacı artırmaktadır (Modell & Darlison, 2008).

Tam Kan Sayımı (TKS), klinik uygulamalarda yaygın olarak kullanılan temel laboratuvar testlerinden biridir. TKS ile elde edilen hematolojik parametreler farklı kan hastalıkları hakkında önemli bilgiler sağlayabilir. Ancak talasemi ve diğer hemoglobin bozukluklarında bazı sınıfların benzer hematolojik özellikler göstermesi, yalnızca belirli parametreler veya sabit eşik değerleri üzerinden ayrım yapılmasını zorlaştırmaktadır (Basancelebi vd., 2026a). Bu nedenle TKS verilerindeki birden fazla parametrenin birlikte değerlendirilmesi daha kapsamlı bir yaklaşım sunabilir.

Son yıllarda TKS verilerinden talasemi ve hemoglobin bozukluklarının belirlenmesine yönelik çeşitli makine öğrenmesi (MÖ) çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Rustam ve arkadaşları, TKS verileri üzerinde farklı makine öğrenmesi modellerini değerlendirmiş ve sınıf dengesizliğini dikkate alan bir veri işleme yaklaşımı kullanmıştır. Çalışmada Rastgele Orman (RO) modeli ile %95 doğruluk elde edilmiştir (Rustam vd., 2022). Sadiq ve arkadaşları ise TKS verilerinden

beta talasemi taşıyıcılarının belirlenmesi için Destek Vektör Makinesi (DVM), Gradyan Arttırma (GA) ve RO algoritmalarını bir araya getiren bir model önermiş ve %93 doğruluk bildirmiştir (Sadiq vd., 2021). Laengsri ve arkadaşları talasemi taşıyıcılığı ile demir eksikliği anemisinin ayrımında farklı MÖ yöntemlerini karşılaştırmış ve beş katlı çapraz doğrulamada karar ağacı (KA) modeli ile %98,03 doğruluk elde etmiştir (Laengsri vd., 2019). Daha güncel bir çalışmada Nasir ve arkadaşları (2025), TKS verileri kullanarak farklı talasemi sınıflarının belirlenmesinde çeşitli MÖ yöntemlerini karşılaştırmış ve XGBoost (Extreme Gradient Boosting- Aşırı Gradyan Artırma) dahil olmak üzere farklı modellerin sınıflandırma performanslarını değerlendirmiştir.

Klinik veri kümelerinde sınıfların farklı sayıda örnek içermesi, özellikle azınlık sınıflarının model eğitiminde yeterince temsil edilememesine neden olabilmektedir. Bu durum, sınıflandırma sonuçlarının sınıf dağılımından etkilenmesine yol açabilmektedir (Wang vd., 2026; Basancelebi vd., 2026b).

Tıbbi veri analizinde bir diğer önemli konu kullanılan özelliklerin seçimidir. Veri setinde bulunan her parametre sınıflandırma açısından aynı düzeyde bilgi taşımayabilir. Gereksiz veya düşük ayırt ediciliğe sahip özelliklerin kullanılması modelin karmaşıklığını artırabilir ve sınıflandırma performansını olumsuz etkileyebilir. Özellik seçimi ile daha az sayıda değişken kullanılarak sınıflar arasındaki ayrımı sağlayan etkili bir özellik alt kümesinin belirlenmesi mümkündür. Bu yaklaşım özellikle klinik karar destek sistemlerinde daha sade ve uygulanabilir modellerin oluşturulmasına katkı sağlayabilir.

Bu çalışmada, sınıf dengesizliğinin etkisini azaltmak amacıyla Rastgele Aşırı Örnekleme (Random Over Sampling, ROS) yöntemi kullanılmış ve azınlık sınıflarının veri setindeki temsilinin artırılması amaçlanmıştır. Ardından, sınıflandırmada etkili olan özelliklerin belirlenmesi için doğadan esinlenen meta-sezgisel optimizasyon yöntemlerinden Ateşböceği Algoritması (Firefly Algorithm, FA) ve Yarasa Algoritması (Bat Algorithm, BA) kullanılmıştır. Her iki yöntem kullanılarak 10 öznitelikten oluşan alt kümeler belirlenmiş ve bu alt kümeler üzerinden MÖ modellerinin sınıflandırma performansları değerlendirilmiştir. Böylece sınıf dengesizliğinin etkisinin azaltılması ve daha az sayıda öznitelik kullanılarak sınıflandırma performansının değerlendirilmesi hedeflenmiştir.

Çalışmada normal bireyler, olası α-talasemi örüntüsü gösteren bireyler, Hb E taşıyıcıları ve diğer talasemi örüntülerini içeren dört sınıflı bir sınıflandırma problemi ele alınmıştır. Eğitim verisi üzerinde FA ve BA kullanılarak 10 öznitelikten oluşan alt kümeler belirlenmiş ve bu alt kümeler farklı MÖ modelleri kullanılarak ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bu düzen ile iki öznitelik seçim yönteminin sınıflandırma sonuçları üzerindeki etkisinin karşılaştırılması amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEMLER

2.1. Veri Seti ve Sınıf Dengeleme

Gerçekleştirilen çalışmada, Mendeley Data platformunda yer alan Kaset (2025) tarafından oluşturulmuş “CBC indices data set” adlı veri kümesi kullanılmıştır. Veri kümesi toplam 5778 bireye ait kayıttan oluşmakta ve dört farklı sınıf içermektedir. Sınıf 0, hematolojik açıdan normal olarak değerlendirilen 3224 bireyden oluşmaktadır. Sınıf 1, hemoglobin fraksiyonları normal olmakla birlikte TKS bulguları olası α-talasemi taşıyıcılığına işaret eden 720 bireyi kapsamaktadır. Sınıf 2, Hb E taşıyıcısı olan 1362 bireyden oluşmakta olup bu grupta olası α-talasemi birlikteliği de bulunmaktadır. Sınıf 3 ise Hb E dışında kalan diğer hemoglobin

bozuklukları ve talasemi örüntülerini içeren 472 bireyden oluşmaktadır (Kaset, 2025).

Veri kümesinde sınıf etiketi dışında toplam 21 giriş değişkeni bulunmaktadır. Bu giriş değişkenlerin 19'u TKS sonucunda elde edilen hematolojik ölçümlerden, diğer ikisi ise yaş ve cinsiyet bilgilerinden oluşmaktadır. Giriş değişkenlerinin kısaltmaları ve açıklamaları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Veri kümesinde kullanılan giriş değişkenlerinin kısaltmaları ve açıklamaları.

Kısaltma	**Açıklama**	**Kısaltma**	**Açıklama**	**Kısaltma**	**Açıklama**
RBC	Kırmızı Kan Hücresi sayısı	PLT	Trombosit sayısı	abs MONO	Mutlak monosit sayısı
HGB	Hemoglobin	WBC	Lökosit sayısı	EOS	Eozinofil yüzdesi
HCT	Hematokrit	NEU	Nötrofil yüzdesi	abs EOS	Mutlak eozinofil sayısı
MCV	Ortalama Eritrosit Hacmi	abs NEU	Mutlak nötrofil sayısı	BASO	Bazofil yüzdesi
MCH	Ortalama Eritrosit Hemoglobini	LYMP	Lenfosit yüzdesi	abs BASO	Mutlak Bazofil sayısı
MCHC	Ortalama Eritrosit Hemoglobin Konsantrasyonu	abs LYMP	Mutlak lenfosit sayısı	Sex	Cinsiyet
RDW	Eritrosit Dağılım Genişliği	MONO	Monosit yüzdesi	Age	Yaş

Veri kümesindeki sınıflar arasında belirgin bir örnek sayısı farkı bulunmaktadır. Bu durum, özellikle az sayıda örneğe sahip sınıfların model eğitiminde yeterince temsil edilememesine neden olabilmektedir. Sınıf dengesizliğinin etkisini azaltmak amacıyla bu çalışmada ROS yöntemi kullanılmıştır. ROS, azınlık sınıflarına ait mevcut örneklerin rastgele seçilerek yeniden örneklenmesine dayanan bir aşırı örnekleme yöntemidir (Wang vd., 2026). Model performansının eğitim sürecinden bağımsız veriler üzerinde değerlendirilebilmesi amacıyla

veri kümesi tabakalı örnekleme kullanılarak eğitim ve test kümelerine ayrılmış, aşırı örnekleme işlemi yalnızca eğitim verisi üzerinde gerçekleştirilmiştir.

2.2. Öznitelik Seçim Yöntemleri

Öznitelik seçimi, veri kümesinde yer alan değişkenler arasından sınıflandırma açısından daha ayırt edici olanların belirlenmesini amaçlayan önemli bir aşamadır. Gereksiz veya düşük katkıya sahip özniteliklerin çıkarılması, veri boyutunun azaltılmasına ve daha sade sınıflandırma modellerinin oluşturulmasına katkı sağlamaktadır. Bu çalışmada, eğitim verisi üzerinde gerçekleştirilen öznitelik seçim sürecinde BA ve FA kullanılarak 10 öznitelikten oluşan alt kümeler araştırılmıştır. ROS işlemi, çapraz doğrulamanın yalnızca eğitim katlarına uygulanmıştır.

BA, yarasaların yön bulma ve avlarını tespit etme sırasında kullandıkları ekolokasyon davranışından esinlenen bir optimizasyon yöntemidir. Algoritmada aday çözümler yarasaları temsil etmekte ve arama süreci bu adayların konum, hız, frekans ve ses şiddeti gibi parametrelerinin güncellenmesiyle yürütülmektedir (Yang, 2010). FA ise ateşböceklerinin ışık şiddetine bağlı olarak birbirlerine yönelme davranışını temel almaktadır. Bu yöntemde daha iyi çözümü temsil eden ateşböcekleri daha yüksek çekiciliğe sahip olmakta ve diğer aday çözümler arama uzayında bu çözümlere doğru hareket etmektedir (Yang, 2009). Her iki algoritmanın küresel arama yeteneğinden yararlanılarak farklı öznitelik kombinasyonları değerlendirilmiş ve 10 öznitelikten oluşan alt kümelerin belirlenmesi amaçlanmıştır. Seçilen öznitelik alt kümeleri daha sonraki aşamada MÖ modellerinin eğitilmesi ve performanslarının karşılaştırılması için kullanılmıştır.

Her iki algoritmada da 21 giriş değişkeni arasından 10 öznitelikten oluşan alt kümeler değerlendirilmiştir. Aday öznitelik alt kümelerinin uygunluğu, RO sınıflandırıcısı kullanılarak beş katlı tabakalı çapraz doğrulamada elde edilen ortalama Matthews Korelasyon Katsayısı (MCC) üzerinden belirlenmiştir. Çapraz doğrulama sırasında ROS işlemi yalnızca her katın eğitim bölümüne uygulanmış, doğrulama verileri ise orijinal sınıf dağılımı korunarak değerlendirilmiştir. Test veri kümesi öznitelik seçimi sürecine dahil edilmemiştir.

Her iki optimizasyon yönteminde de 10 öznitelikten oluşan aday alt kümeler değerlendirilmiş ve uygunluk ölçütü olarak 200 ağaçtan oluşan RO sınıflandırıcısının beş katlı tabakalı çapraz doğrulama sonucunda elde edilen ortalama MCC değeri kullanılmıştır. Algoritmalar 20 aday çözüm ve 30 iterasyon ile çalıştırılmış, tekrarlanabilirliğin sağlanması amacıyla rassal durum değeri 42 olarak sabitlenmiştir.

2.3. Makine Öğrenmesi Algoritmaları

Bu çalışmada, seçilen özniteliklerin sınıflandırma performansını değerlendirmek amacıyla K-En Yakın Komşu (K-Nearest Neighbors, KNN), KA, DVM, RO ve XGBoost algoritmaları kullanılmıştır. Farklı öğrenme yaklaşımlarına sahip bu algoritmaların aynı veri kümesi üzerindeki performansları karşılaştırılmıştır. KNN, bir örneği kendisine en yakın eğitim örneklerinin sınıflarına göre sınıflandıran örnek tabanlı bir MÖ yöntemidir. Tahmin işlemi sırasında belirlenen k sayıda en yakın komşu dikkate alınır ve çoğunlukta bulunan sınıf yeni örneğin sınıfı olarak belirlenir (Arslan vd., 2026). KA, veri kümesindeki öznitelikleri belirli karar kurallarına göre dallara ayırarak sınıflandırma yapan ağaç tabanlı bir yöntemdir. Ağaç yapısı kök düğümden başlayarak karar düğümleri üzerinden ilerler ve yaprak düğümlerde sınıf tahmini gerçekleştirilir (Yapici vd., 2024). DVM, farklı sınıflara ait örnekleri birbirinden ayıran en uygun karar sınırını belirlemeyi amaçlayan denetimli bir öğrenme yöntemidir. Sınıflar arasındaki marjı en yüksek düzeye çıkaran karar sınırının oluşturulması temel alınır. Doğrusal

olarak ayrılamayan verilerde çekirdek fonksiyonlarından yararlanılabilir (Narin vd., 2026). RO, birden fazla karar ağacının birlikte kullanıldığı topluluk tabanlı bir öğrenme yöntemidir. Her ağaç veri ve özniteliklerin farklı alt kümeleri kullanılarak oluşturulur. Sınıflandırma sonucu ağaçlardan elde edilen tahminlerin bir araya getirilmesiyle belirlenir (Parmar vd., 2019). XGBoost, karar ağaçlarını ardışık biçimde oluşturan gradyan artırma tabanlı bir topluluk öğrenmesi yöntemidir. Her yeni ağaç önceki ağaçların hatalarını azaltacak şekilde modele eklenir. Bu yapı sayesinde birden fazla zayıf öğrenicinin bir araya getirilmesiyle daha güçlü bir sınıflandırma modeli oluşturulur (Chen ve Guestrin, 2016).

2.4. Performans Değerlendirme

Veri kümesi, rassal durum değeri 42 olarak sabitlenerek tabakalı örnekleme ile %80 eğitim ve %20 test verisi olacak şekilde ayrılmıştır. Eğitim verisi üzerinde 5 katlı tabakalı çapraz doğrulama uygulanmış ve modellerin hiperparametreleri GridSearchCV yöntemi ile optimize edilmiştir. Hiperparametre optimizasyonu sırasında ROS işlemi her çapraz doğrulama iterasyonunda yalnızca eğitim katına uygulanmış, doğrulama katına yeniden örnekleme uygulanmamıştır. En uygun hiperparametre kombinasyonunun belirlenmesinde MCC temel alınmıştır. MCC ölçütüne göre seçilen model yapılandırmaları daha sonra test veri kümesi üzerinde değerlendirilmiştir.

Modellerin performanslarının değerlendirilmesinde doğruluk (Accuracy), duyarlılık (Recall), F1-skoru, özgüllük (Specificity), yanlış pozitif oranı (False Positive Rate, FPR), MCC ve Cohen’s Kappa metrikleri kullanılmıştır. Doğruluk, doğru sınıflandırılan örneklerin tüm örneklere oranını ifade etmektedir (Arslan vd., 2025). Duyarlılık, ilgili sınıfa ait örneklerin doğru belirlenme oranını gösterirken, F1-skoru kesinlik ve duyarlılığı birlikte dikkate almaktadır. Özgüllük negatif örneklerin doğru şekilde belirlenme oranını, FPR ise negatif örneklerin yanlışlıkla pozitif olarak sınıflandırılma oranını ifade etmektedir (Marioriyad ve Ramazi, 2025). MCC ve Cohen’s Kappa ise tahmin edilen ve gerçek sınıflar arasındaki uyumun değerlendirilmesinde kullanılmıştır (Basancelebi vd., 2026a; Rainio vd., 2024). Çok sınıflı yapı nedeniyle duyarlılık, F1-skoru, özgüllük ve FPR değerleri sınıflar üzerinden makro ortalama alınarak hesaplanmıştır.

3. SONUÇ

Bu çalışmada, eğitim verisi üzerinde BA ve FA kullanılarak belirlenen öznitelik alt kümelerinin farklı MÖ modellerindeki sınıflandırma performansları, öznitelik seçimi ve model geliştirme süreçlerine dahil edilmeyen test veri kümesi üzerinde değerlendirilmiştir. Her iki öznitelik seçim yöntemi ile belirlenen 10 öznitelik kullanılarak modeller ayrı ayrı eğitilmiş ve elde edilen sonuçlar belirlenen performans metrikleri üzerinden karşılaştırılmıştır.

BA ile gerçekleştirilen öznitelik seçimi sonucunda RBC, PLT, RDW, Sex, MCV, MCHC, MCH, LYMP, abs EOS ve abs MONO olmak üzere toplam 10 öznitelik belirlenmiştir. Seçilen öznitelikler kullanılarak KNN, KA, DVM, RO ve XGBoost modelleri eğitilmiş ve test veri kümesi üzerindeki performansları değerlendirilmiştir. BA ile seçilen öznitelikler kullanılarak elde edilen test sonuçları Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2. BA ile Seçilen Özniteliklere Göre MÖ Modellerinin Test Performansları

Model	Doğruluk	Duyarlılık	F1-Skoru	Özgüllük	FPR	MCC	Cohen's Kappa
KNN	0,677	0,546	0,536	0,892	0,108	0,490	0,488
KA	0,752	0,653	0,633	0,915	0,085	0,602	0,601
DVM	0,760	0,634	0,639	0,917	0,083	0,611	0,610
RO	0,795	0,665	0,678	0,924	0,076	0,659	0,658
XGBoost	0,783	0,647	0,661	0,919	0,081	0,638	0,637

Tablo 2 incelendiğinde, BA ile seçilen öznitelikler kullanıldığında incelenen modeller arasında en yüksek doğruluk değeri RO modeli ile elde edilmiştir. RO modeli 0,795 doğruluk, 0,665 makro duyarlılık, 0,678 makro F1-skoru, 0,924 özgüllük ve 0,659 MCC değerine ulaşmıştır. XGBoost modeli 0,783 doğruluk ve 0,638 MCC ile RO modeline yakın sonuçlar vermiştir. DVM ve KA modellerinde doğruluk değerleri sırasıyla 0,760 ve 0,752 olarak hesaplanırken, KNN modeli 0,677 doğruluk değeri ile daha düşük bir performans göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, BA ile belirlenen öznitelik alt kümesi üzerinde model performanslarının kullanılan sınıflandırma algoritmasına bağlı olarak değiştiğini göstermektedir.

FA ile gerçekleştirilen öznitelik seçimi sonucunda MCH, abs BASO, MCHC, RDW, PLT, MCV, EOS, HCT, abs MONO ve Age olmak üzere toplam 10 öznitelik belirlenmiştir. Seçilen öznitelikler kullanılarak KNN, KA, DVM, RO ve XGBoost modelleri eğitilmiş ve test veri kümesi üzerindeki performansları değerlendirilmiştir. FA ile seçilen öznitelikler kullanılarak elde edilen test sonuçları Tablo 3'te verilmiştir.

Tablo 3. FA ile Seçilen Özniteliklere Göre MÖ Modellerinin Test Performansları

Model	Doğruluk	Duyarlılık	F1-Skoru	Özgüllük	FPR	MCC	Cohen's Kappa
KNN	0,676	0,549	0,539	0,890	0,110	0,488	0,486
KA	0,753	0,648	0,631	0,915	0,085	0,602	0,601
DVM	0,771	0,637	0,645	0,919	0,081	0,625	0,624
RO	0,799	0,663	0,682	0,924	0,076	0,664	0,663
XGBoost	0,780	0,631	0,649	0,917	0,083	0,631	0,630

Tablo 3 incelendiğinde, FA ile seçilen öznitelikler kullanıldığında en yüksek doğruluk değeri 0,799 ile RO modelinde elde edilmiştir. Aynı modelde makro duyarlılık 0,663, makro F1-skoru 0,682, özgüllük 0,924 ve MCC 0,664 olarak hesaplanmıştır. XGBoost ve DVM modelleri sırasıyla 0,780 ve 0,771 doğruluk değerlerine ulaşırken, KA ve KNN modellerinde bu değerler 0,753 ve 0,676 olarak elde edilmiştir.

BA ve FA sonuçları birlikte değerlendirildiğinde, iki öznitelik seçim yöntemi ile elde edilen performans değerlerinin genel olarak birbirine yakın olduğu görülmektedir. RO modeli, FA ile seçilen özniteliklerde 0,799 doğruluk ve 0,664 MCC, BA ile seçilen özniteliklerde ise 0,795 doğruluk ve 0,659 MCC değerleri vermiştir. Buna karşılık makro duyarlılık değeri BA–RO kombinasyonunda 0,665, FA–RO kombinasyonunda ise 0,663 olarak hesaplanmıştır. Bu bulgular, mevcut veri kümesi ve değerlendirme düzeni kapsamında BA ve FA ile belirlenen öznitelik alt kümelerinin benzer genel performans düzeyleri ürettiğine işaret etmektedir.

Öznitelik alt kümelerinin uygunluk değerlendirmesinde RO sınıflandırıcısının kullanılmış olması, seçilen özniteliklerin bu modelle uyumunu etkileyebilecek bir unsur olarak değerlendirilmelidir. Bu nedenle modeller arasındaki performans farklılıkları yorumlanırken öznitelik seçiminde kullanılan uygunluk fonksiyonunun da dikkate alınması gerekmektedir. Ayrıca genel performans ölçütleri, sınıflar arasındaki örnek sayısı farklılıkları nedeniyle sınıf bazlı performansı tek başına yansıtmayabilir. Bu nedenle özellikle az sayıda örnek içeren sınıflardaki duyarlılık değerlerinin genel doğruluk ve makro ortalamalarla birlikte değerlendirilmesi önem taşımaktadır.

Bu bulgular doğrultusunda, gelecekte farklı meta-sezgisel öznitelik seçim yöntemlerinin incelenmesi ve elde edilen öznitelik alt kümelerinin farklı veri dengeleme yöntemleri ile birlikte değerlendirilmesi planlanmaktadır. Meta-sezgisel yöntemlerin stokastik yapısı dikkate alınarak, farklı başlangıç koşullarında gerçekleştirilecek tekrarlı çalıştırmalarla seçilen özniteliklerin kararlılığının da incelenmesi yararlı olacaktır. Ayrıca daha geniş ve farklı popülasyonlardan elde edilen veri kümeleri üzerinde yapılacak doğrulama çalışmalarının, incelenen yaklaşımın genellenebilirliğinin değerlendirilmesine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

Modell, B., & Darlison, M. (2008). Global epidemiology of haemoglobin disorders and derived service indicators. Bulletin of the World Health Organization, 86(6), 480–487. https://doi.org/10.2471/BLT.06.036673

Basancelebi, M., Uzun Arslan, R., & Şenyer Yapıcı, İ. (2026a). Hb E taşıyıcılığı ve talasemi örüntülerinin rutin tam kan sayımına dayalı topluluk öğrenmesi ile çok sınıflı değerlendirilmesi. Black Sea Journal of Engineering and Science, 9(4), 1665–1681. https://doi.org/10.34248/bsengineering.1945642

Rustam, F., Ashraf, I., Jabbar, S., Tutusaus, K., Mazas, C., Pascual Barrera, A. E., & de la Torre Diez, I. (2022). Prediction of β-thalassemia carriers using complete blood count features. *Scientific Reports, 12*, 19999. https://doi.org/10.1038/s41598-022-22011-8

Sadiq, S., Khalid, M. U., Mui-Zzud-Din, Ullah, S., Aslam, W., Mehmood, A., Choi, G. S., & On, B.-W. (2021). Classification of β-thalassemia carriers from red blood cell indices using ensemble classifier. *IEEE Access, 9*, 45528–45538. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3066782

Laengsri, V., Shoombuatong, W., Adirojananon, W., Nantasenamat, C., Prachayasittikul, V., & Nuchnoi, P. (2019). ThalPred: A web-based prediction tool for discriminating thalassemia trait and iron deficiency anemia. BMC Medical Informatics and Decision Making, 19, 212. https://doi.org/10.1186/s12911-019-0929-2

Nasir, M. U., Naseem, M. T., Ghazal, T. M., Zubair, M., Ali, O., Abbas, S., Ahmad, M., & Adnan, K. M. (2025). A comprehensive case study of deep learning on the detection of alpha thalassemia and beta thalassemia using public and private datasets. Scientific Reports, 15, 13359. https://doi.org/10.1038/s41598-025-97353-0

Kaset, C. (2025). CBC indices data set (Version 1) [Data set]. Mendeley Data. https://doi.org/10.17632/p85w7tbjbh.1

Wang, L., Shi, E., Meyers, B., Vlachos, P., Tcheng, J., & Denardo, S. (2026). Machine learning performance for a small dataset: Random oversampling improves data imbalances and fairness. BMC Medical Research Methodology, 26, 67. https://doi.org/10.1186/s12874-026-02779-3

Basancelebi, M., Yapici, I. S., & Uzun Arslan, R. (2026b). Machine learning-based multiclass classification of Hb E carrier status and thalassemia-related hematological profiles using routine complete blood count parameters. *Bioengineering, 13*(10), 1118. https://doi.org/10.3390/bioengineering13101118

Yang, X.-S. (2010). A new metaheuristic bat-inspired algorithm. In J. R. González, D. A. Pelta, C. Cruz, G. Terrazas, & N. Krasnogor (Eds.), Nature inspired cooperative strategies for optimization (NICSO 2010) (Studies in Computational Intelligence, Vol. 284, pp. 65–74). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-12538-6_6

Yang, X.-S. (2009). Firefly algorithms for multimodal optimization. In O. Watanabe & T. Zeugmann (Eds.), Stochastic algorithms: Foundations and applications (Lecture Notes in Computer Science, Vol. 5792, pp. 169–178). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-642-04944-6_14

Arslan, R. U., Aksoy, B., & Yapıcı, İ. Ş. (2026). Temperature trend prediction with explainable artificial intelligence and PCA based machine learning: A case study of Zonguldak, Turkey. Scientific Reports, 16, 4910. https://doi.org/10.1038/s41598-026-35173-6

Şenyer Yapıcı, İ., Uzun Arslan, R., & Erkaymaz, O. (2024). Kalp yetmezliği tanılı hastaların hayatta kalma tahmininde topluluk makine öğrenme yöntemlerinin performans analizi. Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 14(1), 59–69. https://doi.org/10.7212/karaelmasfen.1429458

Narin, A., Bektaşoğlu, N., & İleri, U. (2026). Kestirimci bakımda makine öğrenimi uygulamaları: Veri dengeleme ve öznitelik seçimi analizi. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 41*(1), 323–338. https://doi.org/10.17341/gazimmfd.1676005

Parmar, A., Katariya, R., & Patel, V. (2019). A review on random forest: An ensemble classifier. In J. Hemanth, X. Fernando, P. Lafata, & Z. Baig (Eds.), *International Conference on Intelligent Data Communication Technologies and Internet of Things (ICICI) 2018* (Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, Vol. 26, pp. 758–763). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-03146-6_86

Chen, T., & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. In Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (pp. 785–794). Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/2939672.2939785

Arslan, R. U., Erkaymaz, O., Yapici, İ. S., & Perc, M. (2025). Enhanced obesity classification with wavelet packet decomposition and ANN–PSO: A biomedical signal processing approach. *The European Physical Journal Special Topics, 234*(15), 4711–4722. https://doi.org/10.1140/epjs/s11734-025-01603-1

Marioriyad, A., & Ramazi, P. (2025). Optimizing accuracy, recall, specificity, and precision using ILP. *Mathematics, 13*(7), 1059. https://doi.org/10.3390/math13071059

Rainio, O., Teuho, J., & Klén, R. (2024). Evaluation metrics and statistical tests for machine learning. Scientific Reports, 14, 6086. https://doi.org/10.1038/s41598-024-56706-x

SINIF DENGESİZLİĞİNE KARŞI EKSİK ÖRNEKLEME YAKLAŞIMLARI: TKS VERİLERİNDEN TALASEMİ VE HEMOGLOBİN BOZUKLUKLARIYLA İLİŞKİLİ HEMATOLOJİK PROFİLLERİN SINIFLANDIRILMASI

Arş. Gör. Mert BASANÇELEBİ
Zonguldak Bülent Ecevit University, Department of Electrical and Electronics Engineering, 67100 Zonguldak
ORCID ID: 0009-0003-4611-3326
Dr. Öğr. Üyesi İrem ŞENYER YAPICI
Zonguldak Bülent Ecevit University, Department of Computer Engineering, 67100 Zonguldak
ORCID ID: 0000-0003-0655-340X
Doç. Dr. Rukiye UZUN ARSLAN
Zonguldak Bülent Ecevit University, Department of Electrical and Electronics Engineering, 67100 Zonguldak
ORCID ID: 0000-0002-2082-8695

ÖZET

Sınıf dengesizliği, makine öğrenmesi tabanlı sınıflandırma problemlerinde model performansını etkileyen önemli faktörlerden biridir. Bu çalışmada, Tam Kan Sayımı (TKS) verilerinden talasemi ve hemoglobin bozukluklarıyla ilişkili hematolojik profillerin çok sınıflı sınıflandırılmasında farklı eksik örnekleme yaklaşımlarının göreli performanslarının incelenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, 5778 bireye ait 21 giriş değişkeninden oluşan ve dört farklı sınıf içeren bir veri kümesi kullanılmıştır. Sınıf dengesizliğinin ele alınması amacıyla NearMiss-1, Cluster Centroids ve Tomek Links yöntemleri uygulanmış; bu yöntemler Karar Ağacı, Rastgele Orman (RO), Destek Vektör Makineleri, K-En Yakın Komşu ve XGBoost algoritmaları ile değerlendirilmiştir. Veri kümesi, sınıf dağılımları korunarak %80 eğitim ve %20 test verisi olarak ayrılmış ve eğitim sürecinde beş katlı tabakalı çapraz doğrulama uygulanmıştır. Veri sızıntısı riskini azaltmak amacıyla standardizasyon ve eksik örnekleme işlemleri yalnızca çapraz doğrulamanın eğitim katlarında gerçekleştirilmiş, hiperparametre optimizasyonunda Matthews Korelasyon Katsayısı (MCC) esas alınmıştır. Modellerin performansları doğruluk, duyarlılık, F1-skoru, özgüllük, yanlış pozitif oranı (False Positive Rate, FPR), MCC ve Cohen's Kappa ölçütleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Test sonuçlarında, değerlendirilen üç eksik örnekleme yaklaşımı arasında genel olarak en yüksek performans değerleri Tomek Links ile elde edilmiştir. Tomek Links ile birlikte kullanılan RO modeli 0,791 doğruluk ve 0,647 MCC değerine ulaşırken, XGBoost modeli 0,790 doğruluk ve 0,646 MCC ile karşılaştırılabilir bir performans göstermiştir. Cluster Centroids yöntemi genel olarak Tomek Links'in ardından gelirken, NearMiss-1 uygulamasında daha düşük performans değerleri elde edilmiştir. Bulgular, ele alınan veri kümesi ve deneysel koşullar altında eksik örnekleme stratejisi ile sınıflandırıcı seçiminin birlikte değerlendirilmesinin model performansı üzerinde etkili olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Talasemi, makine öğrenmesi, eksik örnekleme, nearmiss-1, cluster centroids, tomek links

UNDERSAMPLING APPROACHES TO ADDRESS CLASS IMBALANCE: CLASSIFICATION OF HEMATOLOGICAL PROFILES ASSOCIATED WITH THALASSEMIA AND HEMOGLOBIN DISORDERS USING CBC DATA

ABSTRACT

Class imbalance is an important factor that can affect model performance in machine learning-based classification problems. This study aimed to examine the relative performance of different undersampling approaches in the multiclass classification of hematological profiles associated with thalassemia and hemoglobin disorders using Complete Blood Count (CBC) data. A dataset comprising 5,778 individuals, 21 input variables, and four distinct classes was used. To address class imbalance, NearMiss-1, Cluster Centroids, and Tomek Links were applied and evaluated in combination with Decision Tree, Random Forest (RF), Support Vector Machine, K-Nearest Neighbors, and XGBoost algorithms. The dataset was divided into 80% training and 20% test sets while preserving the class distributions, and 5-fold stratified cross-validation was employed during model development. To reduce the risk of data leakage, standardization and undersampling were performed exclusively within the training folds of the cross-validation process, and the Matthews Correlation Coefficient (MCC) was used as the criterion for hyperparameter optimization. Model performance was evaluated using accuracy, recall, F1-score, specificity, False Positive Rate (FPR), MCC, and Cohen's Kappa. Among the three undersampling approaches evaluated, Tomek Links generally yielded the highest performance values on the test set. The RF model combined with Tomek Links achieved an accuracy of 0.791 and an MCC of 0.647, while XGBoost showed comparable performance with an accuracy of 0.790 and an MCC of 0.646. Cluster Centroids generally ranked after Tomek Links, whereas lower performance values were obtained with NearMiss-1. These findings indicate that, under the evaluated dataset and experimental conditions, the undersampling strategy and classifier choice should be considered jointly when assessing classification performance.

Keywords: Thalassemia, machine learning, undersampling, nearmiss-1, cluster centroids, tomek links

1. GİRİŞ

Hemoglobin üretimini düzenleyen genlerdeki kalıtsal değişiklikler, hemoglobinin normal yapısının veya üretim sürecinin bozulmasına yol açarak hemoglobinopati olarak adlandırılan hastalık grubunun ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Hemoglobinopatiler genel olarak, globin zincirlerinin sentezindeki niceliksel bozukluklarla karakterize edilen talasemiler ile hemoglobin yapısındaki değişikliklerden kaynaklanan yapısal hemoglobin varyantlarını kapsamaktadır. Talasemiler, etkilenen globin zincirine bağlı olarak başlıca α- ve β-talasemi şeklinde sınıflandırılırken, hastalığın klinik görünümü taşıyıcılık durumundan ağır anemi tablolarına kadar değişkenlik gösterebilmektedir. Bunun yanında Hb E, Hb S ve Hb C gibi yapısal hemoglobin varyantları da hemoglobinopatilerin önemli bir bölümünü oluşturmakta ve bazı varyantların talasemi ile birlikte görülmesi klinik tablonun karmaşıklığını artırabilmektedir (Modell ve Darlison, 2008).

Talasemi ve diğer hemoglobinopatilerin erken dönemde belirlenmesi, özellikle hafif klinik bulguların görüldüğü veya bireylerin asemptomatik olduğu durumlarda güç olabilmektedir. Hastalığın erken evrelerinde ortaya çıkan hematolojik değişiklikler özgül olmayabileceğinden, bu bulgular her zaman doğrudan talasemi veya hemoglobinopati şüphesiyle ilişkilendirilmemektedir. Kesin tanıya yönelik değerlendirmelerde hemoglobin elektroforezi ve

moleküler genetik testler gibi ileri inceleme yöntemlerinden yararlanılabilmesine rağmen, klinik şüphenin oluşmadığı bireyler bu testlere zamanında yönlendirilemeyebilir. Bu durum, özellikle taşıyıcı veya hafif hematolojik profile sahip bireylerin erken dönemde tanınmasını güçleştirerek tanısal sürecin gecikmesine neden olabilmektedir (Su vd., 2025).

Tam Kan Sayımı (TKS), rutin klinik uygulamalarda yaygın olarak kullanılan, düşük maliyetli ve kolay erişilebilir bir laboratuvar incelemesidir. Eritrosit ve hemoglobin ile ilişkili çeşitli hematolojik parametreler hakkında hızlı ve nicel bilgi sağlaması, TKS verilerinin talasemi ve diğer hemoglobinopatilerin ön değerlendirilmesindeki önemini artırmaktadır. Son yıllarda, rutin olarak elde edilebilen bu parametrelerin hastalıkla ilişkili hematolojik örüntülerin belirlenmesinde ve ileri tanısal incelemelere yönlendirilebilecek bireylerin saptanmasında kullanılmasına yönelik çalışmalar giderek artmaktadır (Basancelebi vd., 2026a).

TKS verilerinden yararlanılarak talasemi ve diğer hemoglobin bozukluklarının belirlenmesine yönelik çeşitli makine öğrenmesi (MÖ) yaklaşımları literatürde ele alınmıştır. Rustam ve arkadaşları, β-talasemi sınıflandırmasında farklı MÖ modellerini farklı aşırı örnekleme yöntemleriyle (oversampling) birlikte değerlendirmiş ve en yüksek doğruluğu SMOTE (Synthetic Minority Over-sampling Technique-Sentetik Azınlık Aşırı Örnekleme Tekniği) uygulanmış veri setinde Rastgele Orman (RO) modeli ile %95 olarak bildirmiştir (Rustam vd., 2022). Benzer şekilde Sadiq ve arkadaşları, β-talasemi taşıyıcılarının belirlenmesi amacıyla Destek Vektör Makinesi (DVM), Gradyan Artırma (GA) ve RO algoritmalarını bir araya getiren SGR-VC modelini önermiş ve bu yaklaşım ile %93 doğruluk elde etmiştir (Sadiq vd., 2021). Fu ve arkadaşları ise talasemi ile talasemi dışı mikrositik aneminin ayrımında TKS parametrelerinden yararlanarak DVM tabanlı bir sınıflandırma yaklaşımı geliştirmiş ve en yüksek AUC değerini 0,76 olarak raporlamıştır (Fu vd., 2021). Daha önce tarafımızca aynı veri kümesi kullanılarak gerçekleştirilen bir çalışmada, herhangi bir yeniden örnekleme veya öznitelik seçimi yöntemi uygulanmaksızın farklı MÖ algoritmalarının sınıflandırma performansları değerlendirilmiştir. Söz konusu çalışmada en yüksek genel doğruluk değeri 0,799, Matthews Korelasyon Katsayısı (MCC) değeri ise 0,660 olarak elde edilmiştir (Basancelebi vd., 2026b). Bu çalışmalar, rutin TKS parametrelerinin talasemi ve hemoglobin bozukluklarının MÖ tabanlı değerlendirilmesinde önemli bir potansiyele sahip olduğunu, ancak sınıf dengesizliğinin model performansı üzerindeki etkisinin dikkate alınması gerektiğini ortaya koymaktadır.

Literatürde TKS verilerine dayalı talasemi ve hemoglobinopati sınıflandırmasına yönelik çalışmalar incelendiğinde, sınıf dengesizliğinin ele alınmasında farklı yaklaşımların benimsendiği görülmektedir. Bazı çalışmalarda veri kümelerinin mevcut sınıf dağılımı korunurken, bazı çalışmalarda azınlık sınıflarındaki örnek sayısını artırmaya yönelik aşırı örnekleme yöntemleri tercih edilmektedir. Özellikle tıbbi veri kümelerinde sınıflar arasındaki belirgin örnek sayısı farklılıkları, MÖ modellerinin çoğunluk sınıflarına yönelmesine ve azınlıkta kalan klinik grupların yeterince temsil edilememesine neden olabilmektedir. Bu durum, genel sınıflandırma başarısı yüksek görünse dahi azınlık sınıflarındaki tahmin performansının sınırlı kalmasına yol açabilmektedir. Bu nedenle sınıf dengesizliğinin uygun biçimde ele alınması, güvenilir ve sınıflar arasında daha dengeli bir sınıflandırma performansının elde edilmesi açısından önem taşımaktadır. Aşırı örnekleme yöntemlerine alternatif olarak, çoğunluk sınıfındaki örneklerin belirli ölçütler doğrultusunda azaltılmasına dayanan eksik örnekleme (undersampling) yaklaşımları da sınıf dengesizliğinin yönetilmesinde kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlar, veri kümesine yeni sentetik örnekler eklemek yerine mevcut

örneklerin seçilmesi, azaltılması veya sınıf sınırlarındaki örtüşmenin giderilmesi üzerinden veri dağılımını yeniden düzenlemeyi amaçlamaktadır.
Önceki çalışmamızdan farklı olarak, bu çalışmada TKS verilerine dayalı çok sınıflı hematolojik profil sınıflandırmasında sınıf dengesizliğinin ele alınmasına yönelik farklı eksik örnekleme stratejilerinin göreli performanslarının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, farklı örnek azaltma mekanizmalarına dayanan NearMiss-1, Cluster Centroids ve Tomek Links yöntemleri karşılaştırılmış; söz konusu yöntemler K-En Yakın Komşu (K-Nearest Neighbors, KNN), Karar Ağacı (KA), DVM, RO ve XGBoost (Extreme Gradient Boosting-Aşırı Gradyan Artırma) algoritmaları ile birlikte değerlendirilmiştir. Veri sızıntısı riskini azaltmak amacıyla veri kümesi öncelikle tabakalı olarak %80 eğitim ve %20 test kümelerine ayrılmış; standardizasyon, eksik örnekleme ve hiperparametre optimizasyonu yalnızca eğitim verileri üzerinde gerçekleştirilen beş katlı tabakalı çapraz doğrulama sürecine dahil edilmiştir. Bağımsız test kümesi ise model geliştirme ve hiperparametre seçim süreçlerinden ayrı tutularak yalnızca nihai performans değerlendirmesinde kullanılmıştır. Böylece, üç farklı eksik örnekleme yaklaşımının TKS tabanlı çok sınıflı sınıflandırma üzerindeki etkilerinin ortak ve veri sızıntısı riskinin azaltıldığı bir deneysel çerçevede karşılaştırılması hedeflenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEMLER

2.1. Veri Seti

Çalışmanın deneysel analizlerinde, Kaset (2025) tarafından yayımlanan ve Mendeley Data üzerinden erişime sunulan "CBC indices data set" kullanılmıştır. Toplam 5778 örnek içeren veri kümesinde bireyler hematolojik özelliklerine göre dört sınıf altında tanımlanmıştır. En geniş grubu oluşturan Sınıf 0, normal hemoglobin fraksiyonlarına ve normal TKS bulgularına sahip 3224 bireyi temsil etmektedir. Sınıf 1, hemoglobin fraksiyonları normal olmakla birlikte TKS profili olası α-talasemi ile uyumlu 720 bireyden oluşmaktadır. Sınıf 2'de, olası α-talasemi birlikteliğinin de bulunabildiği 1362 Hb E taşıyıcısı yer almaktadır. Sınıf 3 ise 472 bireyden oluşmakta ve Hb E dışındaki talasemi ile diğer hemoglobinopati ilişkili hematolojik örüntüleri kapsamaktadır (Kaset, 2025). Bu nedenle, çalışmada kullanılan sınıf etiketleri klinik tanıdan ziyade veri setinde tanımlanan hematolojik profil gruplarını temsil etmektedir.

Bu sınıf yapısına ek olarak, her birey modelleme sürecinde 21 giriş değişkeni ile temsil edilmiştir. Bu değişkenlerin 19'u rutin TKS ölçümlerinden elde edilen hematolojik parametrelerden, ikisi ise yaş ve cinsiyet bilgilerinden oluşmaktadır. Sınıflandırma modellerinde kullanılan giriş değişkenleri ve bunlara ilişkin açıklamalar Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Sınıflandırma modellerinde kullanılan giriş değişkenleri ve açıklamaları.

Kısaltma	Açıklama	Kısaltma	Açıklama
RBC	Kırmızı Kan Hücresi sayısı	Abs NEU	Mutlak nötrofil sayısı
HGB	Hemoglobin	LYMP	Lenfosit yüzdesi
HCT	Hematokrit	abs LYMP	Mutlak lenfosit sayısı
MCV	Ortalama Eritrosit Hacmi	MONO	Monosit yüzdesi
MCH	Ortalama Eritrosit Hemoglobini	abs MONO	Mutlak monosit

			sayısı
MCHC	Ortalama Eritrosit Hemoglobin Konsantrasyonu	EOS	Eozinofil yüzdesi
RDW	Eritrosit Dağılım Genişliği	abs EOS	Mutlak eozinofil sayısı
PLT	Trombosit sayısı	BASO	Bazofil yüzdesi
WBC	Lökosit sayısı	abs BASO	Mutlak Bazofil sayısı
NEU	Nötrofil yüzdesi	Sex	Cinsiyet
Age	Yaş		

2.2. Sınıf Dengeleme

Sınıf dengesizliği, özellikle tıbbi veri kümelerinde MÖ modellerinin çoğunluk sınıfına yönelmesine ve daha az örnekle temsil edilen sınıfların yeterince öğrenilememesine neden olabilmektedir. Bu sorunun azaltılmasında, azınlık sınıfındaki örnek sayısını artıran aşırı örnekleme yöntemlerinin yanı sıra çoğunluk sınıfındaki örnek sayısını azaltmaya dayanan eksik örnekleme yaklaşımlarından da yararlanılmaktadır.

Eksik örnekleme yöntemleri, fazla sayıda örnek içeren sınıflardaki gözlemleri belirli seçim ölçütleri doğrultusunda azaltarak sınıflar arasındaki dağılım farklılığını düzenlemeyi amaçlamaktadır. Bu kapsamda kullanılan yöntemlerden NearMiss-1, daha fazla örnek içeren sınıflardaki gözlemlerin azınlık sınıfı örneklerine olan ortalama uzaklıklarını dikkate almakta ve bu uzaklığın daha düşük olduğu örnekleri koruyarak örnek sayısını azaltmaktadır (Rahman vd., 2023). Cluster Centroids yaklaşımı ise hedeflenen sınıflardaki örnekleri kümeleme yoluyla gruplandırmakta ve çok sayıdaki örneği daha az sayıda küme merkezi ile temsil ederek sınıf dağılımındaki dengesizliği azaltmaktadır (Lin vd., 2017). Tomek Links yöntemi, farklı sınıflara ait ve karşılıklı olarak birbirlerinin en yakın komşusu olan örnek çiftlerini belirleyerek sınıfların birbirine yaklaştığı veya örtüştüğü bölgelerdeki örnekleri tespit etmektedir. Belirlenen bu çiftlerde hedeflenen sınıflara ait örneklerin veri kümesinden çıkarılmasıyla sınıflar arasındaki örtüşmenin azaltılması ve karar sınırlarının daha belirgin hale getirilmesi amaçlanmaktadır (Bansal ve Jain, 2021). Dolayısıyla NearMiss-1 uzaklık temelli örnek seçimini, Cluster Centroids örneklerin küme merkezleriyle temsil edilmesini, Tomek Links ise sınıf sınırlarındaki örtüşen örneklerin temizlenmesini esas alarak sınıf dengesizliğine farklı yaklaşımlar sunmaktadır.

2.3. Makine Öğrenmesi Algoritmaları

Eksik örnekleme yöntemlerinin sınıflandırma performansı üzerindeki etkilerini farklı öğrenme prensipleri altında değerlendirebilmek amacıyla çalışmada beş denetimli makine öğrenmesi algoritması kullanılmıştır. Bu kapsamda KA, RO, DVM, KNN ve XGBoost algoritmaları değerlendirilmiştir.

KA, giriş değişkenlerini belirli karar kuralları doğrultusunda ardışık olarak bölerek ağaç tabanlı bir sınıflandırma yapısı oluşturmakta ve elde edilen karar yolları üzerinden örneklerin ait olduğu sınıfları belirlemektedir. Basit ve yorumlanabilir yapısı nedeniyle sınıflandırma problemlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Arslan vd., 2026). RO ise birden fazla karar ağacının tahminlerini bir araya getiren topluluk öğrenmesi yaklaşımına dayanmaktadır. Farklı veri ve öznitelik alt kümeleri üzerinde oluşturulan ağaçların tahminlerinin birleştirilmesi, tek

bir karar ağacına kıyasla model varyansının ve aşırı öğrenme eğiliminin azaltılmasına katkı sağlayabilmektedir (Yapıcı vd., 2024).

DVM, sınıflar arasındaki ayrımı en yüksek düzeye çıkaran karar sınırının belirlenmesini esas almakta ve çekirdek fonksiyonları aracılığıyla doğrusal olmayan sınıf yapılarının modellenmesine olanak sağlamaktadır (Basancelebi vd., 2026c). KNN, yeni bir örneğin sınıfını özellik uzayında kendisine en yakın belirli sayıdaki eğitim örneğinin sınıf bilgilerine göre belirleyen mesafe tabanlı bir yöntemdir. Bu nedenle KNN performansı, değişkenlerin ölçeklendirilmesi ile örnekler arasındaki komşuluk ilişkilerinden etkilenebilmektedir (Narin vd., 2026). XGBoost ise GA prensibine dayanan ağaç tabanlı bir topluluk öğrenmesi algoritmasıdır. Modelde karar ağaçları ardışık olarak oluşturulmakta ve her yeni ağaç önceki aşamalarda oluşan tahmin hatalarını azaltmaya yönelik olarak modele eklenmektedir (Chen ve Guestrin, 2016).

2.4. Performans Değerlendirme

Model performanslarının değerlendirilmesinde, model geliştirme ve nihai test aşamaları birbirinden ayrı tutulmuştur. İlk olarak veri kümesi, sınıf dağılımları korunacak şekilde tabakalı örnekleme kullanılarak %80 eğitim ve %20 bağımsız test kümesine ayrılmıştır. Analizlerin tekrarlanabilirliğini sağlamak amacıyla rassal durum değeri 42 olarak belirlenmiştir. Eğitim kümesi üzerindeki model geliştirme sürecinde beş katlı tabakalı çapraz doğrulama kullanılmıştır.

Her çapraz doğrulama döngüsünde standardizasyon ve eksik örnekleme işlemleri yalnızca ilgili eğitim katına uygulanmış, doğrulama katlarının özgün sınıf dağılımları korunmuştur. Böylece doğrulama ve test örneklerinden model geliştirme sürecine bilgi aktarılması önlenmeye çalışılmıştır. NearMiss-1, Cluster Centroids ve Tomek Links yöntemleri ile sınıflandırıcılar aynı işlem hattı içerisinde değerlendirilmiştir. Her bir sınıflandırıcının hiperparametreleri GridSearchCV kullanılarak optimize edilmiş ve model seçiminde MCC temel ölçüt olarak kullanılmıştır. Model geliştirme ve hiperparametre optimizasyonunun tamamlanmasının ardından elde edilen modeller, daha önce herhangi bir ölçeklendirme, örnekleme veya model seçim işlemine dahil edilmeyen bağımsız test kümesi üzerinde değerlendirilmiştir.

Modellerin nihai test performansları doğruluk (Accuracy), duyarlılık (Recall), F1-skoru, özgüllük (Specificity), yanlış pozitif oranı (False Positive Rate, FPR), MCC ve Cohen's Kappa (κ) ölçütleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Doğruluk, doğru sınıflandırılan örneklerin toplam örnek sayısına oranını ifade ederek modelin genel sınıflandırma performansını göstermektedir (Hejmanowska ve Kramarczyk, 2025). Duyarlılık, her bir sınıfa ait gerçek örneklerin doğru olarak belirlenme oranını ifade ederken, F1-skoru kesinlik ve duyarlılık arasındaki dengeyi harmonik ortalama yoluyla değerlendirmektedir. Çok sınıflı problem yapısı nedeniyle duyarlılık ve F1-skoru, her sınıfa eşit ağırlık verecek şekilde makro ortalama alınarak hesaplanmıştır (Naidu vd., 2023). Özgüllük, ilgili sınıfa ait olmayan örneklerin doğru biçimde negatif olarak belirlenme oranını, FPR ise negatif örneklerin yanlış biçimde pozitif olarak sınıflandırılma oranını ifade etmektedir; her iki ölçüt de sınıf bazında hesaplanan değerlerin makro ortalamaları üzerinden raporlanmıştır (Marioriyad ve Ramazi, 2025). MCC, gerçek ve tahmin edilen sınıflar arasındaki genel uyumu dikkate alması ve sınıf dengesizliğinin bulunduğu problemlerde dengeli bir değerlendirme sağlaması nedeniyle hiperparametre seçiminde temel performans ölçütü olarak kullanılmıştır (Chicco ve Jurman, 2020). κ ise gerçek ve tahmin edilen sınıflar arasındaki uyumu, tesadüfi uyum olasılığını da dikkate alarak değerlendirmek amacıyla raporlanmıştır (Rainio vd., 2024).

3. SONUÇ

Bu çalışmada, sınıf dengesizliği probleminin ele alınması amacıyla NearMiss-1, Cluster Centroids ve Tomek Links olmak üzere üç farklı eksik örnekleme yaklaşımı değerlendirilmiştir. Bu yöntemlerin sınıflandırma performansı üzerindeki etkileri KA, RO, DVM, KNN ve XGBoost algoritmaları kullanılarak karşılaştırılmıştır. Modellerden elde edilen sonuçlar doğruluk, duyarlılık, F1-skoru, özgüllük, FPR, MCC ve κ ölçütleri üzerinden ayrıntılı olarak değerlendirilerek örnekleme yöntemleri ve sınıflandırma algoritmaları arasındaki performans farklılıkları incelenmiştir. NearMiss-1 yönteminin uygulanmasının ardından beş farklı MÖ modelinden test kümesi üzerinde elde edilen performans sonuçları Tablo 2'de sunulmuştur.

Tablo 2. NearMiss-1 Yöntemi ile Elde Edilen Test Performans Sonuçları

Model	Doğruluk	Duyarlılık	F1-Skoru	Özgüllük	FPR	MCC	κ
KA	0,673	0,563	0,535	0,888	0,111	0,492	0,484
RO	0,679	0,596	0,559	0,894	0,105	0,511	0,502
DVM	0,660	0,536	0,510	0,891	0,108	0,482	0,473
KNN	0,689	0,553	0,548	0,887	0,112	0,493	0,492
XGBoost	0,609	0,549	0,498	0,877	0,122	0,437	0,419

Tablo 2'de görüldüğü üzere, NearMiss-1 yöntemi sonrasında modeller arasında farklı performans değerleri elde edilmiştir. Doğruluk açısından en yüksek değer 0,689 ile KNN modelinden elde edilirken, RO modeli 0,679 doğruluk değeriyle KNN'yi takip etmiştir. MCC açısından ise en yüksek değer 0,511 ile RO modelinde elde edilmiş, KNN 0,493 MCC değeriyle ikinci sırada yer almıştır. RO modeli ayrıca 0,596 duyarlılık ve 0,559 F1-skoru ile bu iki ölçüt açısından da diğer modellerden daha yüksek sonuçlar vermiştir. KA ve DVM modellerinin doğruluk değerleri sırasıyla 0,673 ve 0,660 olarak belirlenirken, XGBoost ise 0,609 doğruluk ve 0,437 MCC değerleriyle bu iki ölçüt açısından değerlendirilen modeller arasında en düşük sonuçları vermiştir. Bu sonuçlar, NearMiss-1 sonrasında tek bir modelin tüm ölçütlerde üstünlük sağlamadığını; KNN'nin doğruluk, RO'nun ise MCC, duyarlılık ve F1-skoru açısından daha yüksek değerlere ulaştığını göstermektedir. Cluster Centroids yöntemi için elde edilen test performans sonuçları ise Tablo 3'te sunulmuştur.

Tablo 3. Cluster Centroids Yöntemi ile Elde Edilen Test Performans Sonuçları

Model	Doğruluk	Duyarlılık	F1-Skoru	Özgüllük	FPR	MCC	κ
KA	0,682	0,589	0,559	0,901	0,098	0,526	0,518
RO	0,768	0,686	0,663	0,923	0,076	0,632	0,630
DVM	0,762	0,614	0,620	0,917	0,082	0,611	0,609
KNN	0,740	0,584	0,588	0,905	0,094	0,569	0,569
XGBoost	0,697	0,619	0,581	0,904	0,095	0,540	0,533

Tablo 3 incelendiğinde, Cluster Centroids yöntemi sonrasında en yüksek doğruluk değerinin 0,768 ile RO modelinden elde edildiği, DVM'nin ise 0,762 doğruluk değeriyle RO'ya yakın bir sonuç verdiği görülmektedir. RO modeli aynı zamanda 0,686 duyarlılık, 0,663 F1-skoru ve 0,632 MCC değerleriyle bu ölçütlerde de en yüksek sonuçlara ulaşmıştır. Özgüllük ve FPR değerleri sırasıyla 0,923 ve 0,076 olarak elde edilmiştir. DVM modeli 0,611 MCC ve 0,609 κ

değerleriyle RO'nun ardından gelirken, KNN modelinde 0,740 doğruluk ve 0,569 MCC değerleri elde edilmiştir. KA ve XGBoost modellerinin doğruluk değerleri ise sırasıyla 0,682 ve 0,697 olarak belirlenmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, Cluster Centroids uygulamasında RO modeli incelenen performans ölçütlerinin çoğunda daha yüksek değerlere ulaşırken, DVM modeli RO'ya en yakın genel performansı göstermiştir. Tomek Links yöntemi için elde edilen test performans sonuçları ise Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Tomek Links Yöntemi ile Elde Edilen Test Performans Sonuçları

Model	Doğruluk	Duyarlılık	F1-Skoru	Özgüllük	FPR	MCC	κ
KA	0,786	0,618	0,642	0,914	0,085	0,637	0,632
RO	0,791	0,637	0,662	0,917	0,082	0,647	0,643
DVM	0,769	0,585	0,606	0,911	0,088	0,611	0,607
KNN	0,741	0,543	0,565	0,892	0,107	0,554	0,546
XGBoost	0,790	0,639	0,663	0,917	0,082	0,646	0,642

Tablo 4 incelendiğinde, Tomek Links yöntemi sonrasında modellerin genel olarak birbirine yakın performans değerleri ürettiği görülmektedir. Doğruluk açısından en yüksek değer 0,791 ile RO modelinden elde edilirken, XGBoost 0,790 ile oldukça yakın bir sonuç vermiştir. Benzer biçimde MCC değerleri RO ve XGBoost için sırasıyla 0,647 ve 0,646 olarak elde edilmiştir. Duyarlılık ve F1-skoru açısından ise XGBoost sırasıyla 0,639 ve 0,663 değerlerine ulaşırken, RO modelinde bu değerler 0,637 ve 0,662 olarak belirlenmiştir. Her iki model için özgüllük 0,917 ve FPR 0,082 olarak hesaplanmıştır. KA modeli 0,786 doğruluk ve 0,637 MCC değerleriyle RO ve XGBoost'a yakın sonuçlar üretirken, DVM ve KNN modellerinde daha düşük performans değerleri gözlenmiştir. Genel olarak değerlendirildiğinde, Tomek Links uygulamasında RO ve XGBoost modellerinin karşılaştırılabilir performanslar gösterdiği; RO'nun doğruluk ve MCC açısından marjinal olarak daha yüksek değerlere ulaştığı, XGBoost'un ise duyarlılık ve F1-skorunda sınırlı bir üstünlük sergilediği görülmektedir.

Üç eksik örnekleme yöntemi birlikte değerlendirildiğinde, incelenen performans ölçütleri açısından genel olarak en yüksek sonuçların Tomek Links yöntemi ile elde edildiği görülmüştür. Cluster Centroids yöntemi, Tomek Links'e kıyasla daha düşük ancak NearMiss-1'e göre daha yüksek performans değerleri sağlamıştır. NearMiss-1 uygulamasında ise modellerin genel performanslarının diğer iki eksik örnekleme yaklaşımına göre daha düşük kaldığı gözlenmiştir. Bu bulgular doğrultusunda, ele alınan veri kümesi ve deneysel koşullar altında yöntemlerin genel performans sıralaması Tomek Links, Cluster Centroids ve NearMiss-1 şeklinde gerçekleşmiştir.

Gelecek çalışmalarda, farklı veri kümeleri ve sınıflandırma problemleri üzerinde çeşitli eksik örnekleme yöntemlerinin etkileri daha kapsamlı biçimde araştırılabilir. Bu çalışmada elde edilen bulgular doğrultusunda, özellikle sınıf sınırlarında bulunan örnekleri dikkate alan Tomek Links gibi seçici örnek azaltma yaklaşımlarının farklı veri yapıları üzerindeki performanslarının ayrıca incelenmesi yararlı olabilir. Bunun yanında, eksik örnekleme yöntemlerinin aşırı örnekleme ve hibrit örnekleme yaklaşımlarıyla karşılaştırılması, farklı sınıf dengeleme stratejilerinin model performansı üzerindeki etkilerinin daha ayrıntılı olarak değerlendirilmesine katkı sağlayabilir.

KAYNAKÇA

Modell, B., & Darlison, M. (2008). Global epidemiology of haemoglobin disorders and derived service indicators. Bulletin of the World Health Organization, 86(6), 480–487. https://doi.org/10.2471/BLT.06.036673

Su, Y., Xie, J., He, J., Shen, Y., Li, T., Huang, W., Tong, X., & Bian, Q. (2025). Screening and treatment of thalassemia. *Clinica Chimica Acta, 570*, 120211. https://doi.org/10.1016/j.cca.2025.120211

Basancelebi, M., Yapici, I. S., & Uzun Arslan, R. (2026a). Machine learning-based multiclass classification of Hb E carrier status and thalassemia-related hematological profiles using routine complete blood count parameters. *Bioengineering, 13*(10), 1118. https://doi.org/10.3390/bioengineering13101118

Rustam, F., Ashraf, I., Jabbar, S., Tutusaus, K., Mazas, C., Pascual Barrera, A. E., & de la Torre Diez, I. (2022). Prediction of β-thalassemia carriers using complete blood count features. *Scientific Reports, 12*, 19999. https://doi.org/10.1038/s41598-022-22011-8

Sadiq, S., Khalid, M. U., Mui-Zzud-Din, Ullah, S., Aslam, W., Mehmood, A., Choi, G. S., & On, B.-W. (2021). Classification of β-thalassemia carriers from red blood cell indices using ensemble classifier. *IEEE Access, 9*, 45528–45538. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3066782

Fu, Y.-K., Liu, H.-M., Lee, L.-H., Chen, Y.-J., Chien, S.-H., Lin, J.-S., Chen, W.-C., Cheng, M.-H., Lin, P.-H., Lai, J.-Y., Chen, C.-M., & Liu, C.-Y. (2021). The TVGH-NYCU Thal-classifier: Development of a machine-learning classifier for differentiating thalassemia and non-thalassemia patients. *Diagnostics, 11*(9), 1725. https://doi.org/10.3390/diagnostics11091725

Basancelebi, M., Uzun Arslan, R., & Şenyer Yapıcı, İ. (2026b). Hb E taşıyıcılığı ve talasemi örüntülerinin rutin tam kan sayımına dayalı topluluk öğrenmesi ile çok sınıflı değerlendirilmesi. Black Sea Journal of Engineering and Science, 9(4), 1665–1681. https://doi.org/10.34248/bsengineering.1945642

Kaset, C. (2025). *CBC indices data set* (Version 1) [Data set]. Mendeley Data. https://doi.org/10.17632/p85w7tbjbh.1

Rahman, M. A., Akter, A., Richi, F. S., Shoud, A., & Ahmed, T. (2023). A comparative study of undersampling and oversampling methods for flood forecasting in Bangladesh using machine learning. In 2023 14th International Conference on Computing Communication and Networking Technologies (ICCCNT) (pp. 1–7). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICCCNT56998.2023.10306368

Lin, W.-C., Tsai, C.-F., Hu, Y.-H., & Jhang, J.-S. (2017). Clustering-based undersampling in class-imbalanced data. Information Sciences, 409–410, 17–26. https://doi.org/10.1016/j.ins.2017.05.008

Bansal, A., & Jain, A. (2021). Analysis of focussed under-sampling techniques with machine learning classifiers. In 2021 IEEE/ACIS 19th International Conference on Software Engineering Research, Management and Applications (SERA) (pp. 91–96). IEEE. https://doi.org/10.1109/SERA51205.2021.9509270

Arslan, R. U., Aksoy, B., & Yapıcı, İ. Ş. (2026). Temperature trend prediction with explainable artificial intelligence and PCA based machine learning: A case study of Zonguldak, Turkey. Scientific Reports, 16, 4910. https://doi.org/10.1038/s41598-026-35173-6

Şenyer Yapıcı, İ., Uzun Arslan, R., & Erkaymaz, O. (2024). Kalp yetmezliği tanılı hastaların hayatta kalma tahmininde topluluk makine öğrenme yöntemlerinin performans analizi. Karaelmas Fen ve Mühendislik Dergisi, 14(1), 59–69. https://doi.org/10.7212/karaelmasfen.1429458

Basancelebi, M., Narin, A., & Şenyer Yapıcı, İ. (2026c). Classification of neurodegenerative diseases using machine learning: An approach focused on Alzheimer's and frontotemporal dementia. Gazi University Journal of Science, 39(2), 709–727. https://doi.org/10.35378/gujs.1699476

Narin, A., Arslan, R. U., & Kırkıl, D. (2026). Accurate and low-cost cardiac disorder detection from wearable phonocardiogram signals using hybrid feature selection and machine learning. Biosensors, 16(6), 310. https://doi.org/10.3390/bios16060310

Chen, T., & Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. In Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining (pp. 785–794). Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/2939672.2939785

Hejmanowska, B., & Kramarczyk, P. (2025). Assessing land cover changes using the LUCAS database and Sentinel imagery: A comparative analysis of accuracy metrics. Applied Sciences, 15(1), 240. https://doi.org/10.3390/app15010240

Naidu, G., Zuva, T., & Sibanda, E. M. (2023). A review of evaluation metrics in machine learning algorithms. In R. Silhavy & P. Silhavy (Eds.), Artificial intelligence application in networks and systems (Lecture Notes in Networks and Systems, Vol. 724). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35314-7_2

Marioriyad, A., & Ramazi, P. (2025). Optimizing accuracy, recall, specificity, and precision using ILP. Mathematics, 13(7), 1059. https://doi.org/10.3390/math13071059

Chicco, D., & Jurman, G. (2020). The advantages of the Matthews correlation coefficient (MCC) over F1 score and accuracy in binary classification evaluation. BMC Genomics, 21, Article 6. https://doi.org/10.1186/s12864-019-6413-7

Rainio, O., Teuho, J., & Klén, R. (2024). Evaluation metrics and statistical tests for machine learning. Scientific Reports, 14, 6086. https://doi.org/10.1038/s41598-024-56706-x

MİNERALOJİKSEL VE JEOKİMYASAL PERPEKTİFLERDEN BAKILARAK TURKUVAZ MINERALİNİN KEMOMETRİK KARAKTERİZASYONLARI

YL Öğrencisi Sadık Can OKYAY
Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doğal Yapı Taşları ve Süstaşları Anabilim Dalı 35370 Buca-İzmir / TÜRKİYE
ORCID ID: 0009-0004-9273-1114
Prof. Dr. Murat HATİPOĞLU
Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir Meslek Yüksekokulu, El Sanatları Bölümü, Kuyumculuk ve Takı Tasarımı Programı Buca-İzmir / TÜRKİYE
Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doğal Yapı Taşları ve Süstaşları Anabilim Dalı Buca-İzmir / TÜRKİYE
ORCID ID: 0000-0002-4345-9052

ÖZET
Turkuaz (Türkiz, Firuze) $CuAl_6(PO_4)_4(OH)_8 \cdot 4H_2O$, karakteristik mavi ile yeşilimsi-mavi renkleri ve görece kolay işlenebilmesi nedeniyle binlerce yıldır süs ve mücevher taşı olarak kullanılan bir mineraldir. Bu çalışmada, turkuaz taşının kökeni, jeolojik oluşumu, mineralojik-kristalografik, jeokimyasal, fiziko-mekaniksel ve gemolojik özellikleri kemometrik (çok boyutlu karmaşık verileri özetleme) açıdan bütüncül bir yaklaşımla özetlenmiştir. Anadolu coğrafyasında bugüne kadar doğal turkuaz yatağı bulunmamasına karşın, İran ve Çin kaynaklı taşların İpek Yolu üzerinden Avrupa'ya taşınması turkuvaz isminin Anadolu Türkistan'ıyla ilişkilendirerek Fransızlarca ortaya atılan bir söylemden doğmuştur, İngilizler bu ismi "Türkiz", İranlılara ise "Firuze" olarak telaffuz ederek literatüre katmışlardır. Ancak dünya süs ve mücevher taşı ticaretinde en baskın ismi hala turkuazdır. Bununla beraber günümüz ticaretinde arz-talep dengesindeki bozukluklara bağlı olarak turkuvaz taşının yeterince madensel üretiminin arzı karşılayamaması yüzünde öncelikle dünyanın İran, Çin, Kuzey ve Orta Amerika bölgeleri dışında diğer bölgelerinde de bu taşın yatakları aranmış ancak sadece 2020'li yıllarda Ermenistan'da bulunmuştur. Ancak bu süreçte, takı sektöründe turkuaz taşına olan talebi karşılayabilmek için turkuaz muadilleri / taklitleri piyasaya sürülmüştür. Bunlar arasında en yaygınları; planerit veya turkuaz-planerit ara bileşimindeki malzemelerdir. Ancak turkuaza kimyasal bakımdan benzeyen bazı bakır ve fosfat mineralleri de ilave kimyasal işlemler sonucu takı pazarına arz edilmeye hatta tümüyle kimyasal üretim kompozeler bile doğal turkuvaz olarak sunulmaya çalışılmaktadır. Bu yüzden turkuvaz minerali dışında sunulan tüm benzeri doğal-ve taklit malzemelerin, tahripsiz yöntemlerle kesin belirlenmesinde fiziko-kimyasal yöntemler olan XRD, Mikro-Raman, FT-IR, LA-ICP-MS ve XRF gibi çoklu analitik yöntemlerin birlikte kullanılmasının ortaya çıkarttığı tanımsal veriler bu çalışmada sunulmuştur.
Anahtar kelimeler: Turkuaz (Türkiz, Firuze), mineraloji-jeokimya, gemoloji-mücevher, kemometri

CHEMOMETRIC CHARACTERIZATION OF THE TURQUOISE MINERAL FROM MINERALOGICAL AND GEMOLOGICAL PERSPECTIVES

ABSTRACT
Turquoise (also well-known as *Türkiz* or *Firuze*)—chemically $CuAl_6(PO_4)_4(OH)_8 \cdot 4H_2O$—is a mineral that has been used for millennia as a gems and jewelry stone due to its characteristic blue to greenish-blue colors and its relative ease of workability. This study provides a

comprehensive overview of turquoise—covering its origin, geological formation, and mineralogical-crystallographic, geochemical, physico-mechanical, and gemological properties—using a chemometric approach (summarizing complex, multidimensional data). Although no natural turquoise deposits have been discovered in Anatolia to date, the name "turquoise" originated from a term coined by the French—associating the stone with Anatolia and Turkestan—as stones from Iran and China were transported to Europe via the Silk Road; the British adopted the name as "Turkiz," while the Iranians used "Firuze." Nevertheless, "turquoise" remains the dominant name in the global ornamental stone and jewelry trade. However, due to supply-demand imbalances in the modern market—specifically the inability of mining production to meet demand—prospectors searched for deposits in regions beyond the traditional sources of Iran, China, and North and Central America; a new deposit was eventually discovered in Armenia in the 2020s. Meanwhile, to meet the jewelry sector's demand for turquoise, market alternatives resembling the stone were introduced. The most common among these are materials consisting of planerite or intermediate compositions of turquoise and planerite. However, certain copper and phosphate minerals that are chemically similar to turquoise are being introduced to the jewelry market following additional chemical treatments; furthermore, entirely synthetic composite materials are sometimes passed off as natural turquoise. Consequently, this study presents diagnostic data obtained through the combined use of multiple physicochemical analytical techniques—specifically XRD, Micro-Raman, LA-ICP-MS, FT-IR, and XRF—to definitively identify, via non-destructive methods, all such natural and imitation materials that resemble the turquoise mineral.

Keywords: Turquoise (Turkiz, Firuze), mineralogy-geochemistry, gemology-jewelry, chemometrics

1. GİRİŞ

Süs ve mücevher taşları, yalnızca ekonomik ve estetik değerleriyle değil, aynı zamanda antik ve güncel toplumların kültürel ve sembolik dünyalarını yansıtması bakımından da büyük bir araştırma potansiyeline sahiptir. Bunlar arasında turkuaz (bilinen diğer yaygın adlarıyla türkiz, firuze) (Académie Française, 2024), özgün rengi ve görece kolay işlenebilir yapısı sayesinde, Neolitik dönemlerden (yaklaşık 8.000 yıl dan beri) itibaren başlayıp (Poque, 1915; Caley ve Richards, 1956; Rapp, 2009) günümüzde dahi popülaritesini kaybetmeksizin (Khazeni, 2014) takı, muska, törensel nesne ve mimari bezede (Dubin, 1995; Dasen, 2014) en çok tercih edilen materyallerden biri olmuştur. Tarihsel ve arkeolojik bulgular (Queffelec, 2020) turkuaz kullanımının küresel ölçekteki köklülüğünü ortaya koymaktadır (Hull vd. 2008; Shirdam, 2021).

•**İran / Orta Doğu (Mısır-Ürdün):** Deh Luran Ovası kazılarında MÖ 7.000–6.500 yıllarına tarihlenen turkuaz boncuk ve süs eşyaları belgelenmiştir. Nişabur bölgesi tarih boyunca en kaliteli homojen mavi turkuazların (Persian Turquoise) ana kaynağı olmuştur (Geissel, 1900; Gübelin, 1966; Ouskouian, 1972; Beale, 1973; Fayaz ve Forghani, 1975; Khorassani ve Abedini, 1976; Carò, vd. 2021).

•**Çin:** Xinjiang (Tianhu East, Heishanling) ve Hubei (Zhushan) bölgelerinde MÖ 7.000 yıllık geçmişe sahip antik madencilik galerileri tespit edilmiştir (Qin vd. 2015; Xian vd. 2023; Liu vd. 2024; Yang vd. 2025).

•**Kuzey-Orta-Güney Amerika:** MÖ 200 – MS 1.500 arasında Anasazi, Zuni ve Navaho kabileleri turkuazı kutsal sayarak Aztek ve Maya kültürleriyle geniş ticaret ağları kurmuşlardır (Geissel, 1900; Evans ve Southward, 1914; Weigand vd. 1977; Thibodeau vd. 2018; Goodsuhm, 2025; Lynch ve Lynch, 2025).

Bunlar haricinde çok yakın geçmişte Ermenistan'da da önemeli sayılabilecek gerçek turkuvaz

madeni Teghout Cu-Mo madeninde keşfedilerek dünyaya duyurulmuştur (Štubňa ve Andrášiová, 2021; Shirdam vd. 2026). Son yıllarda Dünya gemoloji piyasasında turkuvaz taşının popüleritesi / ticari eğilimi oldukça artmaya başlamıştır (Khazeni, 2014; GlobalInfoResearch, 2026; LP Information, Inc., 2026). Özellikle Türkiye'de adından ve özgün mavimsi ve yeşilimsi-mavi renginden dolayı hem Osmanlı da hem de modern Türkiye'de adeta milli ve simgesel bir değer kazanmıştır (Yardım, 2023). Böylece Türk sanatında turkuvaz taşının yeri yadsınamaz hale gelmiştir (Zygulski, 1995; The Metropolitan Museum of Art, 2022).

Turkuaz taşı, ticari piyasalarda sıklıkla taklit ve iyileştirilmiş ürünlerle (Bernardino vd. 2016) karıştırılmaktadır. Bu yüzden turkuvaz minerali dışında sunulan tüm benzeri doğal-ve taklit malzemelerin, tahripsiz yöntemlerle kesin belirlenmesinde temel gemolojik incelemeler yanında ileri fiziko-kimyasal yöntemlerin de birlikte kullanılmasının (kemometri) ortaya çıkarttığı mineralojik tanımsal veriler büyük önem arz etmektedir.

Bu çalışma; turkuazın mineralojik-kristalografik, jeokimyasal, spektroskopik ve gemolojik özelliklerini bütüncül bir kemometrik yaklaşımla ele alarak, hem benzer minerallerden hem de yapay taklitlerden ayırt edilmesini sağlayacak güncel bir literatür derlemesi sunmayı amaçlamaktadır.

2. MATERYAL VE METOTLAR

Bu çalışmada anlatılmak istenen ana materyal, turkuvaz mineralidir. Bununla beraber hem görünüşsel hem de jeokimyasal benzerliği nedeniyle doğal yandaş mineraller ile taklit sayılabilecek kompoze materyallerden de bahsedilmektedir. Turkuaz mineralinin jeolojik oluşumu ve bulunuşundan kaynaklı nispeten nadir üretimi arz talep dengesinde arzın kısıtlılığını oluşturduğundan, talep bakımından takı piyasasında birçok turkuvaz muadillerinin dolaşımına rastlanılmaktadır. Bu yüzden taşının turkuvaz tam ve güvenilir bir biçimde mineralojik olarak kimliklendirilmesi (tanımlanması) için çok disiplinli ve aşamalı bir fiziko-kimyasal verileri elde etmeye yönelik analitik metodoloji uygulanmalıdır (Gemological Institute of America-GIA, 2026). Yalnızca renk ve dış görünüşe dayalı değerlendirmeler yanıltıcı olmaktadır. Bu çalışma kapsamında, küresel gemoloji piyasasında baskın olan turkuaz minerali ve muadillerinin fiziko-kimyasal ayrımını inceleyen, 1900 ile 2026 yılları arasında uluslararası endekslerde (Web of Science, Scopus) yayımlanmış 50'den fazla öncül araştırma kemometrik bir yaklaşımla sistematik olarak taranmıştır. İncelenen makalelerdeki spektral (Raman, FT-IR) ve elementel (XRF, LA-ICP-MS) verilerin çok değişkenli istatistiksel yöntemlerle anlamlandırılma süreçleri derlenmiştir.

Önerilen aşamalı analitik iş akışı şu adımlardan oluşmaktadır.

1. Makroskopik-Gemolojik İnceleme: Özgül ağırlık (2.6–2.8 g/cm³), Mohs sertliği (5–6), kırılma indisi (n ≈ 1.61–1.65 opak olduğu için sadece spot metoduyla bulunabilir) değerleri tespit edildikten sonra, basit mikroskop/büyüteç gözlemleri ve Uzun (365 nm) ve kısa dalga boylu (266 nm) UV ışık altında fotolüminesans tepkisi değerlendirilir (U.S. Geological Survey, 1995; Webmineral, 2026).

2. Spektroskopik Tarama (Mikro-Raman, FT-IR ve CL): Mikro-Raman tahribatsız moleküler bağ analizidir (Čejka vd. 2015; Sabbaghi, 2018). Raman spektroskopisi PO_4^{3-} fosfat gruplarının iç titreşim, eğilme ve bükülme modlarını belirlerken ve de FT-IR spektroskopisi (Frost vd. 2013; Lind vd. 2015) OH/H_2O bantlarını ve yapıya emdirilmiş polimer/reçine/mum gibi organik maddelere ait C-H gerilme emilimlerini kesin olarak tespit eder. Kathadolüminesans grafikleri de (Belik ve Çiftçi, 2008) özellikle elektromanyetik tayfın radyasyon bölgesindeki özgün ışınsal tepkimelerle turkuvazın karakteristiğini belirlemeye yardımcı olur.

3. Kristal Yapı Doğrulaması (XRD): X-Işını Toz Saçınımı (XRD), turkuazın triklinik kristal fazını doğrular ve kuvars, jarosit, götit gibi eşlik eden ikincil mineral fazlarını saptar (Lind vd. 1983).

4. Kimyasal ve Elementel Analizler (XRF / ED-XRF, EPMA, EPR, EAS, SEM-EDS): XRF ile ana/iz elementler (Cu, Al, P, Fe, Zn, K, Si) taranır. Mössbauer Spectroskopik verileri, EPMA ve SEM-EDS ile mikro-ölçekte kalitatif/kantitatif elementel dağılım ve katı çözelti oranları belirlenir (Sharma, 1988; Carò vd. 2021).

5. İleri Analizler, Coğrafik Köken Bölgesi (Provenans) Belirleme / Eser Element Analizleri (LA-ICP-MS ve İzotoplar): Lazer Ablasyon ICP-MS (Tong vd. 2023), Cu-H veya Pb-Sr izotop oranları (Hull vd. 2008) ile nadir toprak elementi (REE) desenleri kullanılarak çok değişkenli istatistiksel/kemometrik yöntemlerle coğrafi köken ve yatak ayrımı gerçekleştirilir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Turkuvaz isminin kökeni Fransızca "turques/turquois" sözcüklerinden gelmekte olup "Türk" veya "Türk Taşı" anlamındadır (Back ve Mandarino, 2008; Académie Française, 2024). Turkuaz minerali aslında Anadolu coğrafyasında jeolojik bir yatak olarak henüz bulunmamaktadır. Bu yüzden isimlendirme, taşın çıkarıldığı kaynak ülkeyi değil, uzak ve yakın doğu Asya ülkelerinden (İran, Mısır, Çin gibi) çıkartılan taşların tarihsel İpek Yolu ve Osmanlı coğrafyası üzerinden Avrupa'ya ulaştırıldığı ticaret güzergâhını yansıtmaktadır (Poque, 1915; Beale, 1973; Branson, 1975). Farsça kökenli adı "Piruzeh" olup Osmanlıca'ya "Firuze" olarak geçmiştir (Ebu'r-Reyhan Muhammed b. Ahmed el-Biruni, 1229).

Jeolojik olarak turkuaz minerali, bakır, alüminyum ve fosfor bakımından zengin kayaçların yüzeye yakın kesimlerinde (süperjen/oksidasyon zonlarında) meteorik suların etkisiyle düşük sıcaklık ve uygun pH-Eh koşullarında çökelmesiyle oluşur (Penfield, 1900; Webmineral, 2026). Yan kayaçlarda nodüler, kütlesel, damar veya boşluk dolgusu şeklinde mikro-kriptokristalin agregalar olarak gözlenir. Nişabur'da breşleşmiş trakit ve volkanikler (Giessel, 1900; Gübelin, 1966; Shirdam vd. 2024), Xinjiang'da kuvarsit ve siyah şeyller (Xian vd. 2023; Shirdam vd. 2024), Teghout'ta ise porfiri bakır süperjen zonları (Štubňa ve Andrášiová, 2021; Shirdam vd. 2026) ana yan kayaçları oluşturur.

Turkuaz grubunun kristal yapısı özgün olup (Cid-Dresdner, 1965), ideal kimyasal formülü $CuAl_6(PO_4)_4(OH)_8 \cdot 4H_2O$ dır (Penfield, 1900). Mineralojik yapı bakımından triklinik kristal sisteminde yer alır. Bununla beraber, jeokimyasal oluşum sürecinde kristal yapısında gerçekleşen katyonik yer değiştirmeler tam bir katı çözelti serisi oluşturur (Rossi vd. 2017; Shirdam vd. 2024). Bunların en başlıcaları;

•**Turkuaz – Kalkosiderit Serisi:** Oktahedral konumdaki Al^{3+} yerini Fe^{3+} aldıkça mineral Kalkosiderit $[CuFe^{3+}_6(PO_4)_4(OH)_8 \cdot 4H_2O]$ yönüne kayar ve renk maviden zeytin yeşiline dönüşür (Abdu vd. 2011; Frost vd. 2013).

•**Turkuaz – Planerit Serisi:** Yapısal Cu^{2+} konumunda eksiklik (vakans) oluştuğunda yük dengesi protonlaşma ile sağlanır ve Planerit $[Al_6(PO_4)_4(OH)_8 \cdot 4H_2O]$ bileşimi ortaya çıkar. Piyasada "turkuaz" olarak satılan birçok taş aslında turkuaz-planerit ara bileşimindedir (Foord vd. 1998).

•**Faustit ve Aheylit:** Cu^{2+} yerini Zn^{2+} aldığında faustit, Fe^{2+} aldığında ise aheylit minerali meydana gelir.

Renk oluşumunda temel kromofor Cu^{2+} iyonu olup canlı mavi rengi sağlar. Fe^{3+} varlığı rengi yeşile kaydırırken, kahverengi/siyah limonit-götit damarları estetik "örümcek ağı" (spiderweb) matris desenlerini oluşturur (Liu vd. 2024). Bazı durumlarda ağaç yapılarında ornatmalarla oluşabilen odunsu yapıdaki türlemelere de rastlanır (Reiche vd. 2000). Ancak bunların yaygın isimlendirilmesi "Odontolit" olarak belirlenmiştir.

Turkuazın mineral yapısı bakımından yüksek porozitesi (gözenekliliği), onu fiziksel/kimyasal müdahalelere son derece açık hale getirmektedir. Bu yüzden de çok sayıda taklitleri türetilebilmektedir. Tablo 1'de yaygın iyileştirmeler ile taklit türleri; Tablo 2'de ise bunları ayırt etmede kullanılan bazı önemli analitik kemometrik yöntemler özetlenmiştir.

Tablo 1. Turkuaza uygulanan renk iyileştirme işlemleri ve taklit malzemelerinin belirlenmesi (Han vd. 2015; Fritsch, 1999; Bernardino vd. 2016; Liu vd. 2021; Huang vd. 2022; Diella vd. 2023).

Renk İyileştirme (Tedavi) İşlemleri	**Taklit (İmitasyon) Malzemeler**
Mumlama / Yağlama (Waxing / Oiling)	Boyalı Havlit Minerali [$Ca_2B_3SiO_9(OH)_5$]
Polimer / Reçine Emdirme (Stabilizasyon)	Boyalı Manyezit Minerali [$MgCO_3$]
Kimyasal Boyama (Dyeing)	Sentetik Camsı Kompozeler / Poroselenize Yapılar
Zachery İyileştirmesi (Potasyum Tuz Cillası)	Renkli Plastik ve Reçine Türevleri / Odontolit

Tablo 2. Turkuaz ve muadillerinin teşhisinde kullanılan önemli analitik/kemometrik yöntemler (Lind vd. 1983; Sabbaghi, 2018; Carò vd. 2021; Liu vd. 2024).

Analitik Yöntem	**Teşhis ve Analiz Amacı**	**Belirleyici Parametreler / Çıktılar**
XRD Analizi	Kristal faz tanımı ve ikincil faz tespiti	Triklinik turkuaz yapısı; kuvars, götit, jarosit fazları
Mikro-Raman Analizi	Tahribatsız mineralojik doğrulama	PO_4^{3-} iç titreşim eğilme/bükülme modları ve OH bantları
FT-IR Analizi	Organik polimer ve reçine tespiti	Reçine/mum emdirilmiş yapılarda C-H bağ absorbsiyonları
EPMA / SEM-EDS / XRF	Nicel elementel analiz & Zachery tespiti	Cu, Al, P, Fe oranları; Zachery işleminde yüksek K tespiti

Günümüzde antik dönemlerden buyana geçen sürede çeşitli uygarlıkların kullandıkları turkuaz taşlı takıların incelenmesinde, coğrafik köken (provenans) belirleme çalışmaları gittikçe hız kazanmaya başlamıştır (Queffelec, 2020; Tong vd. 2023; Xian vd. 2023; Yang vd. 2025). Bunun başlıca nedeni turkuvaz taşının ticari hareketliliğinin delilsel verilerle belirlenmesidir. Çok değişkenli kemometrik algoritmaların teşhisteki rolü yönüyle bakıldığında, turkuazın elementel (LA-ICP-MS) ve spektroskopik verileri oldukça karmaşık ve çok boyutludur. Literatürde bu verilerin özetlenmesi ve coğrafi köken (provenans) ayrımının keskinleştirilmesi için Temel Bileşen Analizi (PCA) gibi gözetimsiz; Doğrusal Diskriminant Analizi (LDA) ve Rastgele Orman (RF) gibi gözetimli makine öğrenmesi algoritmaları sıklıkla kullanılmaktadır. Özellikle LA-ICP-MS ile elde edilen iz element matrislerine uygulanan Fisher diskriminant modelleri, Çin, İran ve ABD yataklarından elde edilen doğal turkuazları %99.5'e varan bir doğruluk oranıyla sınıflandırabilmektedir. Bu durum, kemometrinin sadece bir özetleme aracı değil, aynı zamanda adli gemolojide (forensic gemmology) sahteciliği önleyen bir sertifikasyon altyapısı olduğunu kanıtlamaktadır.

Günümüz turkuvaz Dünya ticaretinde üretim bakımından İran birinci sırayı almaktadır. Çin ve A.B.D. ikinci ve üçüncü sıralarda ve en nihayetinde Ermenistan da bu yarışa katılarak dördüncü sırayı almaktadır (Beale, 1973; Khazeni, 2014; LP Information, Inc, 2026; U.S. GlobalInfoResearch, 2026; Geological Survey, 2026).

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

1. Türkiye sınırları dahilinde MTA ve üniversitelerce doğrulanmış ekonomik bir doğal turkuaz yatağı henüz bulunmamaktadır. Yerli olduğu iddia edilen örneklerin analitik olarak doğrulanması yapılmadığından bunların bilimsel anlamı yoktur. Bununla beraber halen işletilen ve yeni bulunacak tüm bakır yatakları turkuvaz içerimi bakımından tekrar kontrol edilmelidir.
2. Turkuazın kimliklendirilmesinde yalnızca renk ve dış görünüş yetersizdir. En anlamlı tabiriyle XRD + Mikro-Raman + FT-IR + ED-XRF kombinasyonundan oluşan standart bir analitik doğrulama protokolü uygulanmalıdır.
3. Piyasada satılan turkuvaz ve muadili ürünlerin "doğal", "stabilize", "boyalı", "kompoze" veya "taklit" kategorilerinde etiketlenmesi için standart sertifikasyon sistemi geliştirilmelidir.
4. Gelecekteki çalışmalarda, taşınabilir (handheld) XRF ve Mikro-Raman cihazlarının kemometrik yazılımlarla entegre edilmesi sayesinde, müzelerdeki tarihi turkuaz eserlerin tahribatsız olarak saniyeler içinde coğrafi köken (provenans) doğrulamalarının sahada yapılmasına odaklanılmalıdır.

KAYNAKLAR

Abdu, Y. A., Hull, S. K., Fayek, M., & Hawthorne, F. C. (2011). The turquoise-chalcosiderite $Cu(Al,Fe^{3+})_6(PO_4)_4(OH)_8 \cdot 4H_2O$ solid-solution series: A Mössbauer spectroscopy, XRD, EMPA, and FTIR study. *American Mineralogist, 96*(10), 1433–1442. https://doi.org/10.2138/am.2011.3658

Académie Française. (2024). Turquoise. Dictionnaire de l'Académie française, 9e édition. https://www.dictionnaire-academie.fr/article/A9T2745

Back, M. & Mandarino, J. (2008). *Fleischer's Glossary of Mineral Species*. 10th Ed., The Mineral Record Inc.

Beale, T. W. (1973). Early trade in highland Iran: A view from a source area. *World Archaeology, 5*(2), 133–148. https://doi.org/10.1080/00438243.1973.9979561

Belik, H. G., & Çiftçi, M. (2008). Cathodoluminescence properties of turquoise. *Celal Bayar University Journal of Science, 4*(2), 195–200.

Bernardino, N. D., Izumi, C. M. S., & de Faria, D. L. A. (2016). Fake turquoises investigated by Raman microscopy. *Forensic Science International, 262*, 196–200. https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.03.041

Branson, O. T. (1975). Turquoise, The Gem of The Venturies. Treasure Chest Publications.

Caley, E.R. & Richards, J.C. (1956). *Theophrastus on Stones*, A Modern Edition with Greek Text, Translation, Introduction, and Commentary. Ohio State University.

Čejka, J., Sejkora, J., Macek, I., Malíková, R., Wang, L., Scholz, R., & Frost, R. L. (2015). Raman and infrared spectroscopic study of turquoise minerals. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 149*, 173–182. https://doi.org/10.1016/j.saa.2015.04.029

Cid-Dresdner, H. (1965). Determination and refinement of the crystal structure of turquois, $CuAl_6(PO_4)_4(OH)_8 \cdot 4H_2O$. *Zeitschrift für Kristallographie – Crystalline Materials, 121*(1–6), 87–113. https://doi.org/10.1524/zkri.1965.121.16.87

Carò, F., Schorsch, D., Smieska, L., & Santarelli, B. (2021). Non-invasive XRF analysis of ancient Egyptian and Near Eastern turquoise: A pilot study. *Journal of Archaeological Science: Reports, 36*, 102893. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2021.102893

Dasen, V. (2014). Healing Images, Gems and Medicine. *Oxford Journal of Archaeology*, 33(2), 177–191. https://doi.org/10.1111/ojoa.12033

Diella, V., Cantaluppi, M., Bocchio, R., Possenti, E., Adamo, I., Della Ventura, G., Mancini, L., & Marinoni, N. (2023). Characterization and comparison of natural and Zachery-treated

turquoise: New data. *Physics and Chemistry of Minerals, 50*(2), 12–25. https://doi.org/10.1007/s00269-023-01241-w

Dubin, L. S. (1995). *The History of Beads: From 30,000 B.C. to the Present*. H. N. Abrams, Tames and Hudson-London.

Ebu'r-Reyhan Muhammed b. Ahmed el-Biruni (1229), Çev:Özcan, E.S., (2017). Kıymetli Taşlar ve Metaller Kitabı (el-Cemahir fi Ma'rifeti'ı-Cevahir). Türk Tarih Kurumu.

Evans, O. H., & Southward, J. (1914). A further note on the occurrence of turquoise at Indio Muerto, northern Chile. *Man, 14*, 37–39. https://doi.org/10.2307/2788948

Fayaz, H., & Forghani, A. H. (1975). The turquoise of Iran. *Rocks & Minerals, 59*(9), 526–528.

Foord, E. E., & Taggart, J. E., Jr. (1998). A reexamination of the turquoise group: The mineral aheylite, planerite (redefined), turquoise and coeruleolactite. *Mineralogical Magazine, 62*(1), 93–111. https://doi.org/10.1180/002646198547495

Fritsch, E., McClure, S. F., Ostrooumov, M., Andres, Y., Moses, T., Koivula, J. I., & Kammerling, R. C. (1999). The identification of Zachery-treated turquoise. *Gems & Gemology, 35*(1), 4–16.

Frost, R. L., Xi, Y., Scholz, R., & Ribeiro, C. A. (2013). The molecular structure of the phosphate mineral chalcosiderite: A vibrational spectroscopic study. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 111*, 24–30.

Geissel, H. L. (1900). Turquoise mines of Persia. *Scientific American, 82*(16), 246.

Gemological Institute of America-GIA). (2026). Turquoise quality factors. Erişim tarihi: 12 Mart 2026, https://www.gia.edu/turquoise-quality-factor.

GlobalInfoResearch. (2026). Global turquoise rough stone market 2026 by manufacturers, regions, type and application, forecast to 2032 [Pazar Araştırma Raporu]. MarketResearch.com.

Goodsuhm, A. A. (2025). An evaluation of turquoise from the Mona Lisa Mine in Arkansas. *Gems & Gemology, 61*(4), 374–391.

Gübelin, E. J. (1966). The turquoise occurrences in Persia. *Gems & Gemology, 13*(1), 3–13.

Han, W., Lu, T., Dai, H., Su, J., & Dai, H. (2015). Impregnated and dyed turquoise. *Gems & Gemology, 51*(3).

Hull, S. K., Fayek, M., Mathien, F. J., Shelley, P., & Durand, K. R. (2008). A new approach to determining the geological provenance of turquoise artifacts using hydrogen and copper stable isotopes. *Journal of Archaeological Science, 35*(5), 1355–1369. https://doi.org/10.1016/j.jas.2007.10.001

Huang, L., Chen, Q., Li, Y., Yin, Z., Xu, F., Gao, X., & Du, Y. (2022). Composition and spectral characteristics of porcelain-treated turquoise. *Gems & Gemology, 58*(4), 438–457.

Khazeni, A. (2014). *Sky Blue Stone: The Turquoise Trade in World History*. University of California Press.

Khorassani, A., & Abedini, M. (1976). A new study of turquoise from Iran. *Mineralogical Magazine, 40*(314), 640–642.

Lind, T., Schmetzer, K., & Bank, H. (1983). The identification of turquoise by infrared spectroscopy and X-ray powder diffraction. *Gems & Gemology, 19*(3), 164–168.

Liu, L., Yang, M., Li, Y., Di, J., Chen, R., Liu, J., & He, C. (2021). Technical Evolution and Identification of Resin-Filled Turquoise. Gems & Gemology, 57(1). https://www.gia.edu/gems-gemology/spring-21-technical-evolution-identification-resin-filled-turquoise

Liu, L., Yang, M., Li, Q., Tang, Y., Wen, H., Yuan, Y., Li, Y., & Liu, J. (2024). Mineralogy and geochemistry of turquoise from Tianhu East, Xinjiang, China. *Gems & Gemology, 60*(1), 2–25.

LP Information, Inc. (2026). *Global Turquoise Rough Stone Market Growth 2026–2032*. MarketResearch.com.

Lynch, D. R., & Lynch, B. (2025). *Turquoise: Identifying and collecting the Southwest's iconic gemstone*. Adventure Publications.
Ouskouian, A. (1972). Persian turquoise. *Lapidary Journal, 26*(9), 1339–1340
Penfield, S. L. (1900). On the chemical composition of turquoise. *American Journal of Science, 160*(59), 346–350.
Pogue, J. E. (1915). *The Turquoise: A Study of Its History, Mineralogy, Geology, Ethnology, Archaeology, Mythology, Folklore, and Technology*. Memoirs of the National Academy of Sciences, Vol. XII.
Qin, Y., Xu, Y. Y., Li, H. M., Li, S. X., & Xi, Q. F. (2015). Turquoise mine and artefact correlation for some Bronze Age archaeological sites in Hubei Province, China. *Archaeometry, 57*(5), 788–802. https://doi.org/10.1111/arcm.12126
Queffelec, A. (2020). Provenancing turquoise: A difficult task. *ArcheoSciences, 44*, 163–177.
Rapp, G. (2009). *Archaeomineralogy*. 2nd Ed., (Editors; Herrmann, B., Wagner, G. A.), Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
Reiche, I., Vignaud, C., & Menu, M. (2000). Heat induced transformation of fossil mastodon ivory into turquoise "odontolite": Structural and elemental characterisation. *Solid State Sciences, 2*(6), 625–636. https://doi.org/10.1016/S1293-2558(00)01067-0
Rossi, M., Rizzi, R., Vergara, A., Capitelli, F., Altomare, A., Bellatreccia, F., Saviano, M., & Ghiara, R. (2017). Compositional variation of turquoise-group minerals from the historical collection of the Real Museo Mineralogico of the University of Naples. *Mineralogical Magazine, 81*(6), 1405–1429. https://doi.org/10.1180/minmag.2017.081.055
Sabbaghi, H. (2018). A combinative technique to recognise and discriminate turquoise stone. *Vibrational Spectroscopy, 99*, 93–99. https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2018.09.002
Sharma, K. B. (1988). EPR and electronic absorption spectra of copper bearing turquoise mineral. *Physics Letters A. 132, 293-297*. https://doi.org/10.1016/0375-9601(88)90570-1
Shirdam, B., Shen, A. H., Yang, M., Mokhtari, Z., & Fazliani, H. (2021). Persian turquoise: The ancient treasure of Neyshabur. *Gems & Gemology, 57*(3), 240–257. https://doi.org/10.5741/GEMS.57.3.240
Shirdam, B., Yang, M., Liu, J., Liu, L., & Shen, A. H. (2024). Characterizing the provenance signatures and geochemical behaviors of turquoise in copper deposits: Comparative case studies of Meiduk, Iran, and Tongling, China. *Journal of Gems & Gemmology, 26*, 71–74.
Shirdam, B., Yang, M., Meliksetian, K., Grigoryan, E., Yang, Y., Zheng, Y., Wan, X., & Jiang, Y. (2026). Mineralogical and geochemical provenance reference for turquoise from the Teghout Cu–Mo deposit in Armenia. *Scientific Reports, 16*, 27540. https://doi.org/10.1038/s41598-026-59932-7
Štubňa, J., & Andrášiová, A. (2021). Turquoise from Armenia. *Journal of Gemmology, 37*(5), 454–456.
Thibodeau, A. M., López-Luján, L., Killick, D. J., Berdan, F. F., & Ruiz, J. (2018). Was Aztec and Mixtec turquoise mined in the American Southwest? *Science Advances, 4*(6), eaas9370.
The Metropolitan Museum of Art. (2022). *Pendant, late 18th century, Object No. 2022.463.2*. Department of Islamic Art, The Metropolitan Museum of Art.
Tong, S., Chen, G., Hu, W., Pan, S., et al. (2023). Determination of geographic origin of turquoise by combining laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry analysis and chemometrics. *Minerals, 13*(10), 1338. https://doi.org/10.3390/min13101338
U.S. Geological Survey. (1995). Gemstones—Turquoise. Mineral Information Archive, U.S. Geological Survey. https://apps.usgs.gov/minerals-information-archives/gemstones/sp14-95/turquoise.html
U.S. Geological Survey. (2026). *Iran: Mineral industry production data – Gemstones,*

turquoise (kilograms), 2020–2024. National Minerals Information Center.
Webmineral (2026). Turquoise Mineral Data. (erişim tarihi 18.09.2026). https://webmineral.com/data/Turquoise.shtml
Weigand, P. C., Harbottle, G., & Sayre, E. V. (1977). Turquoise sources and source analysis: Mesoamerica and the southwestern USA.
Xian, Y., Liang, Y., Yu, C., Yang, L., & Wu, Y. (2023). A method to characterize turquoise deposits in China using sedimentary environment sensitive elements. *Heritage Science, 11*, 236. https://doi.org/10.1186/s40494-023-01080-6
Yang, J., Luo, W., Han, H., & Chen, D. (2025). On-site analysis of the turquoise artifacts excavated from the Xingong site in Beijing. *Journal of Archaeological Science: Reports, 61*, 104981.
Yardım, G. (2023). Bir sultanın mücevherleri: Ayşe Sultan'ın cihaz (çeyiz) defteri. *Turcology Research, 77*, 183–197. https://doi.org/10.5152/JTRI.2023.2255177
Zygulski Jr., Z. (1995). Turquoise in Turkish art. *9. Milletlerarası Türk Sanatları Kongresi Bildirileri*, Cilt III, 567–575. T.C. Kültür Bakanlığı.

RELIABILITY OF SHAP EXPLANATIONS FOR MACHINE-LEARNING CORRECTIONS OF RANS TURBULENCE MODELS

Öğr. Gör. Dr. Reha AVŞAR
İstanbul Medeniyet University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Mechanical Engineering, 34700 Üsküdar, İstanbul
ORCID ID: 0000-0001-9450-5728

ABSTRACT
Machine-learning (ML) corrections trained on high-fidelity data can reduce the errors of Reynolds-averaged Navier–Stokes (RANS) turbulence models, and SHapley Additive exPlanations (SHAP) are increasingly used to interpret them. However, the input features of these models are strongly interdependent, so the reliability of such explanations remains unclear. This study assesses this reliability for data-driven corrections of the k–ω SST model. For this purpose, gradient-boosted trees (LightGBM) and multilayer perceptrons were trained on the open RANS–DNS/LES dataset of McConkey et al. (2021). From thirteen rotationally invariant, non-dimensional flow features, LightGBM predicted RANS errors in Reynolds-stress anisotropy, turbulent kinetic energy and eddy viscosity, and the perceptrons predicted only the anisotropy error. The models were then tested on periodic-hill geometries and a curved backward-facing step excluded from training. The corrections reduced the root-mean-square error in shear anisotropy by 70% for a hill within the training range. This reduction fell to 53% outside that range and to 25% for the step. Turning to the explanations, path-dependent and interventional TreeSHAP gave largely consistent feature rankings (median Kendall $\tau = 0.79$). Permutation importance, by contrast, agreed poorly with TreeSHAP (median $\tau = 0.36$), mostly beyond sampling noise. Similarly, the multilayer perceptron was at least as accurate as LightGBM on the hills but gave different explanations ($\tau = 0.21$–0.44), and functionally redundant features shared importance arbitrarily. Nevertheless, LightGBM explanations remained largely stable across thirteen leave-one-case-out folds ($\tau = 0.69$–0.87). Finally, the share of test points outside the training range did not predict correction performance, whereas deviation of the SHAP profile from the consensus did so only weakly (Spearman $\rho = 0.58$, $p = 0.04$). These findings show that feature attributions depend on both the attribution method and the model class; physical interpretations of ML turbulence closures should therefore be verified across both.
Keywords: RANS turbulence modelling, explainable artificial intelligence, SHAP, machine learning, computational fluid dynamics

RANS TÜRBÜLANS MODELLERİNE YÖNELİK MAKİNE ÖĞRENMESİ DÜZELTMELERİNDE SHAP AÇIKLAMALARININ GÜVENİLİRLİĞİ

ÖZET
Yüksek doğruluklu verilerle eğitilen makine öğrenmesi (MÖ) düzeltmeleri Reynolds ortalamalı Navier–Stokes (RANS) türbülans modellerinin hatalarını azaltabilmekte, bu düzeltmelerin yorumlanmasında ise SHapley Additive exPlanations (SHAP) yöntemi giderek yaygınlaşmaktadır. Ancak bu modellerin girdi öznitelikleri birbirine güçlü biçimde bağımlı olduğundan, açıklamaların güvenilirliği belirsizdir. Bu çalışmada, k–ω SST modeline yönelik veriye dayalı düzeltmelerde SHAP açıklamalarının güvenilirliği incelenmiştir. Bu amaçla gradyan artırmalı karar ağaçları (LightGBM) ve çok katmanlı algılayıcılar, McConkey ve diğerlerinin (2021) açık erişimli RANS–DNS/LES veri setiyle eğitilmiştir. LightGBM, dönmeye göre değişmez ve boyutsuz on üç akış özniteliğinden yararlanarak Reynolds gerilmesi

anizotropisi, türbülans kinetik enerjisi ve türbülans viskozitesindeki RANS hatalarını, çok katmanlı algılayıcılar ise yalnızca anizotropi hatasını tahmin etmiştir. Ardından modeller, eğitimde kullanılmayan periyodik tepe geometrileri ve eğrisel geriye dönük basamak akışı üzerinde sınanmıştır. Düzeltmeler, kayma anizotropisindeki karekök ortalama kare hatayı eğitim aralığındaki tepe geometrisinde %70 azaltmıştır. Bu oran, aralık dışındaki geometride %53'e, basamak akışında ise %25'e düşmüştür. Açıklamalar açısından ise yol bağımlı (path-dependent) ve müdahaleye dayalı (interventional) TreeSHAP büyük ölçüde tutarlı öznitelik sıralamaları vermiştir (medyan Kendall $\tau = 0,79$). Buna karşılık permütasyon önem ölçütünün TreeSHAP ile uyumu, çoğunlukla örnekleme gürültüsünün ötesinde zayıf kalmıştır (medyan $\tau = 0,36$). Aynı şekilde çok katmanlı algılayıcı, tepe geometrilerinde LightGBM'e eşit ya da daha yüksek doğruluğa ulaşmasına karşın farklı açıklamalar vermiş ($\tau = 0,21–0,44$); işlevsel olarak birbirinin yerine geçebilen öznitelikler arasında da önem payları keyfi biçimde dağılmıştır. Bununla birlikte LightGBM açıklamaları, on üç katlamalı birini dışarıda bırak (leave-one-case-out) doğrulamasında görece kararlı kalmıştır ($\tau = 0,69–0,87$). Son olarak, eğitim aralığı dışındaki test noktalarının oranı düzeltme başarımını öngörmezken, SHAP profilinin ortak profilden sapması başarımla yalnızca zayıf bir ilişki göstermiştir (Spearman $\rho = 0,58$; $p = 0,04$). Bulgular, öznitelik katkılarının hem açıklama yöntemine hem de model sınıfına bağlı olduğunu göstermektedir; bu nedenle MÖ tabanlı türbülans kapanışlarına ilişkin fiziksel yorumlar her iki açıdan da doğrulanmalıdır.

Anahtar kelimeler: RANS türbülans modellemesi, açıklanabilir yapay zekâ, SHAP, makine öğrenmesi, hesaplamalı akışkanlar dinamiği

1. INTRODUCTION

Because scale-resolving simulations are still too costly for many industrial applications, Reynolds-averaged Navier–Stokes (RANS) simulations are likely to stay the main tool for predicting turbulent flows in engineering practice (McConkey et al., 2021). Their accuracy is limited by the turbulence closure, such as the widely used k–ω SST model (Menter et al., 2003): flows with strong adverse pressure gradients, separation or streamline curvature are often predicted poorly (Ling & Templeton, 2015; McConkey et al., 2021). Machine-learning (ML) corrections trained on direct numerical simulation (DNS) or large-eddy simulation (LES) data have improved predictions for flows that were part of, or closely related to, the training data (Duraisamy, 2021; McConkey et al., 2022), but generalisation to different flows remains a key open issue (Duraisamy, 2021; McConkey et al., 2026).

Because these corrections are black-box models, their credibility depends on knowing which flow features drive their predictions. SHapley Additive exPlanations (SHAP; Lundberg & Lee, 2017) have become widely used in fluid dynamics (Cremades et al., 2025), including for this purpose. He et al. (2022) applied TreeSHAP to a random-forest correction for a transonic bump, and C. Wu et al. (2023), McConkey et al. (2022) and Alhafiz et al. (2025) applied SHAP to neural-network corrections for a compressor rotor, periodic hills and square ducts. Balakrishnan et al. (2026) compared SHAP with local interpretable model-agnostic explanations (LIME), treating physically plausible explanations as evidence of credibility. Outside turbulence modelling, SHAP has been used, for example, to compare tree-based models for aero-engine prognostics (Avsar, 2026).

These turbulence studies judged the explanations mainly by their physical plausibility, and most examined a single model and attribution method on the training data or one test flow. Feature attributions, however, are not unique: permutation importance and Shapley estimates that ignore the dependence between features can mislead when the inputs are correlated (Aas et al., 2021; Hooker et al., 2021; Strobl et al., 2008), as the inputs of turbulence corrections often are,

for example the strain-rate and rotation-rate magnitudes (Mandler & Weigand, 2023). For a single periodic-hill flow, Mandler and Weigand (2023) showed that their conclusions depended on how locally the importance was evaluated, on the background data and on the attribution method, although permutation importance and DeepSHAP gave consistent global results. To the author's knowledge, it has not been examined for turbulence corrections whether disagreements between explanations exceed the sampling noise, whether different model classes trained on the same data give the same explanations, how correlated features share importance, or whether changing explanations can indicate a failing correction.

This study therefore assesses the reliability of SHAP explanations for data-driven corrections of the k–ω SST model on the open dataset of McConkey et al. (2021): gradient-boosted trees predicted the RANS errors in Reynolds-stress anisotropy, turbulent kinetic energy and eddy viscosity, and multilayer perceptrons the anisotropy error, from thirteen rotationally invariant flow features. The study quantifies (i) the accuracy at three levels of generalisation; (ii) the agreement between attribution methods and between model classes, relative to the sampling noise of each method; (iii) the effect of correlated features, including grouped attributions; and (iv) the stability of the explanations across flows and their potential as a failure indicator. The analysis is a priori: the corrections are compared with the DNS/LES data but not used inside a RANS solver, where the result would also depend on the conditioning of the corrected equations (Brener et al., 2021; J. Wu et al., 2019).

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Dataset

The study used version 6 (McConkey et al., 2025; CC BY 4.0) of the curated RANS–DNS/LES dataset of McConkey et al. (2021), which provides steady OpenFOAM RANS solutions for several turbulence models together with direct numerical simulation (DNS) or large-eddy simulation (LES) mean fields mapped onto the RANS grid. The k–ω SST solutions (Menter et al., 2003) of the two-dimensional cases were used: five periodic hills with steepness factors α = 0.5, 0.8, 1.0, 1.2 and 1.5, five parametric bumps (h20–h42), a converging–diverging channel at Reynolds numbers of 12,600 and 20,580, a curved backward-facing step at a Reynolds number of 13,700 and nine zero-pressure-gradient flat-plate profiles, 755,356 points in total.

Points at which the RANS or DNS/LES turbulent kinetic energy k fell below 10^{-3} of the 99th percentile of the DNS/LES value in that case were removed, because the anisotropy is ill-defined where k vanishes. This kept 85.5% of the points: 94–97% for the hills, the channel and the flat plate, 77–80.5% for the bumps and 52.5% for the curved step, whose low-turbulence core was removed. The molecular viscosity ν, which the dataset does not store, was recovered by inverting the wall boundary condition for the specific dissipation rate ω used to generate the data (McConkey et al., 2021),

$$\nu = \frac{\beta_1 \, \omega \, d^2}{6} \tag{1}$$

with $\beta_1 = 0.075$ and wall distance d, evaluated in the 0.5% of cells closest to the wall. The recovered values agreed with those reported by McConkey et al. (2021) for all 29 listed cases to within 0.03%, and for the flat plate with $\nu = d\,u_\tau/y^+$ from the stored wall units (median ratio 1.000).

2.2. Input features and target quantities

All inputs were computed from the k–ω SST solution alone, so that a correction could, in principle, be evaluated inside a RANS solver. The thirteen non-dimensional features (Table 1) comprise nine physics-based inputs of Ling and Templeton (2015), a variant of their input 7, the streamline curvature of Wang et al. (2017) normalised with the turbulent length scale, and

the invariants λ_1 and λ_2 of the normalised strain-rate and rotation tensors (Pope, 1975). They are formed from the mean velocity $\boldsymbol{U}$, the strain-rate and rotation tensors $\boldsymbol{S}$ and $\boldsymbol{\Omega}$, the pressure p, k and its dissipation rate ε, the eddy viscosity ν_t, the RANS Reynolds-stress tensor $\boldsymbol{R}$, d and ν. All features are invariant under rotation of the coordinate system; the six that contain $\boldsymbol{U}$ are, strictly, not Galilean invariant, as in the feature sets they are taken from.

Table 1. Input features computed from the k–ω SST solution ($\|\cdot\|$: Frobenius norm). Source: LT n = input n of Ling and Templeton (2015); W = Wang et al. (2017); P = Pope (1975); * = modified normalisation.

Feature	Definition	Physical meaning	Source
Q-criterion	$(\|\boldsymbol{\Omega}\|^2 - \|\boldsymbol{S}\|^2)/(\|\boldsymbol{\Omega}\|^2 + \|\boldsymbol{S}\|^2)$	Rotation vs. strain	LT 1
TKE ratio	$k/(0.5\,\|\boldsymbol{U}\|^2 + k)$	Turbulent vs. mean-flow kinetic energy	LT 2
Wall-distance Reynolds number	$\min(\sqrt{k}\,d/(50\,\nu),\ 2)$	Distance from the wall in viscous terms	LT 3
Streamwise pressure gradient	$\boldsymbol{U}\cdot\nabla p/(\|\boldsymbol{U}\|\|\nabla p\| + \|\boldsymbol{U}\cdot\nabla p\|)$	Adverse vs. favourable pressure gradient	LT 4
Time-scale ratio	$\|\boldsymbol{S}\|k/\varepsilon\ /(\|\boldsymbol{S}\|k/\varepsilon + 1)$	Turbulent vs. mean-strain time scale	LT 5
Pressure gradient / inertia	$\|\nabla p\|/(\|\nabla p\| + \|U_j\ \partial U_j/\partial x_i\|)$	Pressure vs. inertial forces	LT 7*
Non-orthogonality	$\|U_i U_j\ \partial U_i/\partial x_j\|/(\|\boldsymbol{U}\|\,\|U_j\ \partial U_j/\partial x_i\| + \|U_i U_j\ \partial U_i/$	Alignment of the velocity with its gradient	LT 9
TKE convection / production	$\boldsymbol{U}\cdot\nabla k/(\|R_{ij}S_{ij}\| + \|\boldsymbol{U}\cdot\nabla k\|)$	Convection vs. production of k	LT 10
Reynolds-stress ratio	$\|\boldsymbol{R}\|/(k + \|\boldsymbol{R}\|)$	Magnitude of the RANS Reynolds stress	LT 11
Viscosity ratio	$\nu_t/(100\,\nu + \nu_t)$	Eddy vs. molecular viscosity	LT 6
Streamline curvature	$\kappa\ell/(\kappa\ell + 1),\ \kappa = \|\boldsymbol{U}\times D\boldsymbol{U}/Dt\|/\|\boldsymbol{U}\|^3,$ $\ell = k^{3/2}/\varepsilon$	Curvature relative to the turbulent length scale	W*
λ_1	$\mathrm{tr}(\hat{\boldsymbol{S}}^2),\ \hat{\boldsymbol{S}} = \boldsymbol{S}\,k/\varepsilon$	Normalised strain invariant	P
λ_2	$\mathrm{tr}(\hat{\boldsymbol{\Omega}}^2),\ \hat{\boldsymbol{\Omega}} = \boldsymbol{\Omega}\,k/\varepsilon$	Normalised rotation invariant	P

The targets were point-wise discrepancies between the DNS/LES and RANS fields. The primary target was the error in the shear component of the Reynolds-stress anisotropy tensor

$$b_{ij} = \frac{\tau_{ij}}{2k} - \frac{\delta_{ij}}{3} \tag{2}$$

where τ_{ij} is the Reynolds-stress tensor and δ_{ij} the Kronecker delta, that is,

$$\Delta b_{12} = b_{12}^{\mathrm{DNS}} - b_{12}^{\mathrm{RANS}} \tag{3}$$

This target depends on the coordinate frame and is meaningful here only because all cases are two-dimensional with the x axis in the mean-flow direction. Two frame-invariant targets complemented it: the discrepancy in turbulent kinetic energy,

$$y_k = \log_{10}\left(\frac{k^{\mathrm{DNS}}}{k^{\mathrm{RANS}}}\right) \tag{4}$$

and the discrepancy in eddy viscosity, for which the optimal eddy viscosity (Brener et al., 2021; J. Wu et al., 2019) that best reproduces the DNS/LES anisotropy with the RANS strain rate in the least-squares sense,

$$\nu_{t,\mathrm{opt}} = -\frac{a_{ij}^{\mathrm{DNS}}\, S_{ij}}{2\, S_{ij} S_{ij}}, \qquad a_{ij}^{\mathrm{DNS}} = 2k^{\mathrm{DNS}}\, b_{ij}^{\mathrm{DNS}} \tag{5}$$

was compared with the RANS eddy viscosity,

$$y_\nu = \log_{10}\left(\frac{\nu_{t,\mathrm{opt}}}{\nu_t^{\mathrm{RANS}}}\right) \tag{6}$$

evaluated only where $\nu_{t,\mathrm{opt}} > 0$ and limited to $[-3, 3]$.

2.3. Machine-learning models and generalisation tests

Two model classes were trained on the thirteen features. LightGBM (Ke et al., 2017), used for all three targets, had 500 trees, a learning rate of 0.06, at most 63 leaves per tree, at least 200 samples per leaf, an L2 regularisation of 1.0 and 80% subsampling of points and features. A multilayer perceptron (MLP), trained only for Δb_{12} and, because of its cost, on 100,000 random points, had hidden layers of 128, 128 and 64 neurons, inputs mapped to a normal distribution by a quantile transform, the Adam optimiser (learning rate 10^{-3}, batch size 1,024) and early stopping (at most 80 epochs).

Generalisation was tested on three held-out flows of increasing difficulty: the hill with α = 1.2, within the training range of steepness; the steepest hill (α = 1.5), outside it; and the curved step, a geometry absent from training. The models were trained on all remaining hills, bumps, channel cases and flat-plate profiles, with at most 40,000 random points per case so that the largest cases did not dominate. Accuracy on all retained points of the held-out flow was measured by the root-mean-square error (RMSE), the coefficient of determination R^2 and the error reduction relative to the uncorrected k–ω SST model,

$$\mathrm{ER} = 1 - \frac{\mathrm{RMSE}_{\mathrm{ML}}}{\mathrm{RMSE}_{\mathrm{RANS}}} \tag{7}$$

where $\mathrm{RMSE}_{\mathrm{RANS}}$ is the RMSE of a zero correction.

2.4. Explanation methods and reliability analyses

Feature attributions were computed with SHAP (Lundberg & Lee, 2017). For LightGBM, two TreeSHAP variants (Lundberg et al., 2020) were used: the path-dependent variant, which approximates the conditional expectation of the model output by weighting each tree branch by the number of training points that reached it, and the interventional variant, which treats the features as independent by averaging over 50 background training points. Path-dependent values on up to 20,000 random points per held-out flow provided the spatial maps and the global and grouped importances; the global importance of a feature is its mean absolute SHAP value, reported as a percentage of the summed importance of all features. Permutation importance (Breiman, 2001), the decrease in R^2 when a feature is shuffled (five repeats), served as a model-agnostic alternative. Permutation importance (Hooker et al., 2021; Strobl et al., 2008), Shapley estimates that assume independent features and, partly, path-dependent TreeSHAP (Aas et al., 2021) are known to be affected by correlated features. The three methods were evaluated on the same 500 test points per held-out flow. For the MLP, SHAP values were estimated with the permutation algorithm of the shap library (100 background and 1,000 test points) and compared with the path-dependent values of LightGBM on the same points.

Agreement between two importance rankings was measured by Kendall's τ ($\tau = 1$ for identical rankings). The noise floor of each method was its self-agreement, that is, τ between rankings from two disjoint samples of 500 test points (path-dependent TreeSHAP; for the MLP, the two halves of its 1,000 points). A disagreement between methods was regarded as genuine only when it fell below the self-agreement of both.

Correlated features were grouped by average-linkage hierarchical clustering of the Spearman

rank correlations ρ on 100,000 random points, with the distance $1 - |\rho|$ and a cut-off of 0.3, so that features with $|\rho| > 0.7$ were grouped. The grouped importance of a cluster was the mean absolute value of the point-wise sum of its members' SHAP values (SHAP values are additive). Stability across flows was examined by leave-one-case-out tests on the 13 cases with at least 500 retained points. For each held-out case, a LightGBM model (300 trees) was trained on at most 10,000 points of every other case, and the normalised mean absolute SHAP profile was computed on up to 5,000 points of the held-out case. The stability of a fold was the Kendall τ between its profile and the consensus (mean) profile. The error reduction was correlated (Spearman) with two candidate indicators of failure: the fraction of test points with at least one feature outside the 0.5–99.5th percentile range of the training data, and the agreement of the fold's profile with the consensus.

All computations used Python with LightGBM 4.6.0, shap 0.52.0 and scikit-learn on a free Google Colab CPU runtime with a fixed random seed. The interventional TreeSHAP values satisfied additivity to within 2.2×10^{-4} of the spread of the predictions (99th percentile).

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Prediction accuracy

Table 2 summarises the accuracy on the held-out flows. For the hill within the training range ($\alpha = 1.2$), LightGBM reduced the RMSE of the k–ω SST model by 85% for the turbulent kinetic energy, 70% for the shear anisotropy and 68% for the eddy viscosity. These reductions fell to 75%, 53% and 52% for the steeper hill ($\alpha = 1.5$) and to 25%, 25% and 9% for the curved step, where the eddy-viscosity correction was almost ineffective ($R^2 = 0.11$). The MLP was at least as accurate as LightGBM on both hills (73% and 61%, i.e. 3 and 9 percentage points higher) but clearly less accurate on the step (10.5%, 15 points lower).

Table 2. Prediction accuracy on the held-out flows: RMSE of the uncorrected k–ω SST model ($\mathrm{RMSE}_{\mathrm{RANS}}$) and of the corrected prediction ($\mathrm{RMSE}_{\mathrm{ML}}$), coefficient of determination R^2 and error reduction ER, Eq. (7).

Test case	Target	Model	$\mathrm{RMSE}_{\mathrm{RANS}}$	$\mathrm{RMSE}_{\mathrm{ML}}$	R^2	ER (%)
Hill, $\alpha = 1.2$	y_k	LightGBM	0.4350	0.0644	0.95	85.2
	Δb_{12}	LightGBM	0.0616	0.0182	0.89	70.4
	Δb_{12}	MLP	0.0616	0.0164	0.91	73.4
	y_v	LightGBM	0.4286	0.1372	0.88	68.0
Hill, $\alpha = 1.5$	y_k	LightGBM	0.4541	0.1140	0.86	74.9
	Δb_{12}	LightGBM	0.0639	0.0303	0.73	52.6
	Δb_{12}	MLP	0.0639	0.0247	0.82	61.4
	y_v	LightGBM	0.4499	0.2180	0.74	51.5
Curved step	y_k	LightGBM	0.6705	0.4999	0.44	25.4
	Δb_{12}	LightGBM	0.0649	0.0484	0.40	25.4
	Δb_{12}	MLP	0.0649	0.0580	0.14	10.5
	y_v	LightGBM	0.6572	0.5989	0.11	8.9

3.2. Spatial explanations on the unseen geometry

Figure 1 shows the shear-anisotropy discrepancy on the curved step, its LightGBM prediction and the SHAP contributions behind it. The discrepancy is largest, and positive, in the separated shear layer and negative along the curved wall (Fig. 1a). The correction captures the location and sign of both regions but underestimates the shear-layer peak (Fig. 1b), so the remaining error concentrates at the upper edge of the shear layer (Fig. 1c). The Q-criterion raises the predicted discrepancy throughout the shear layer (Fig. 1d), the TKE ratio lowers it along the

curved wall (Fig. 1e), and the wall-distance Reynolds number acts only in a thin layer next to the walls (Fig. 1f). These maps invite plausible physical readings, but the ranking behind them is uncertain: on all 19,490 points, the wall-distance Reynolds number and the streamwise pressure gradient have practically equal importance (10.9% of the total each), so their order changes with the sample of points (compare Fig. 2a).

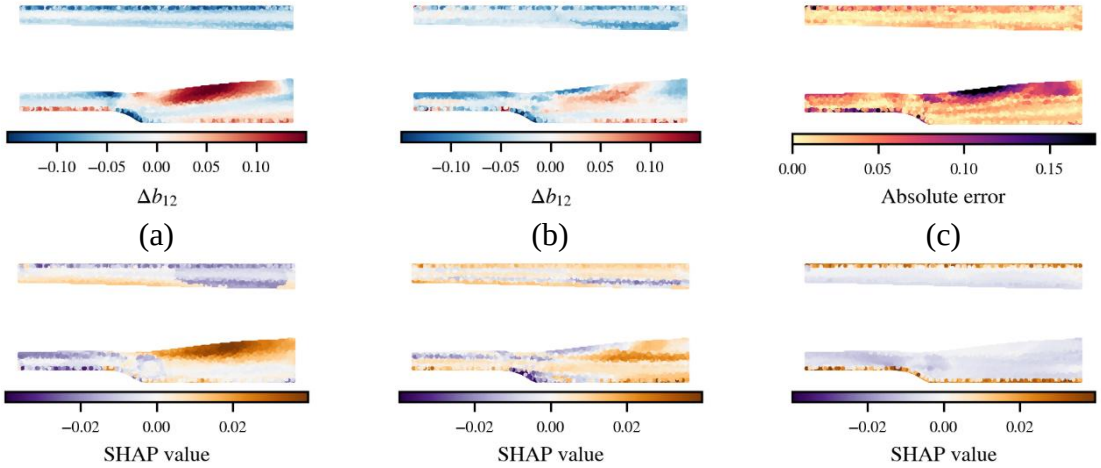
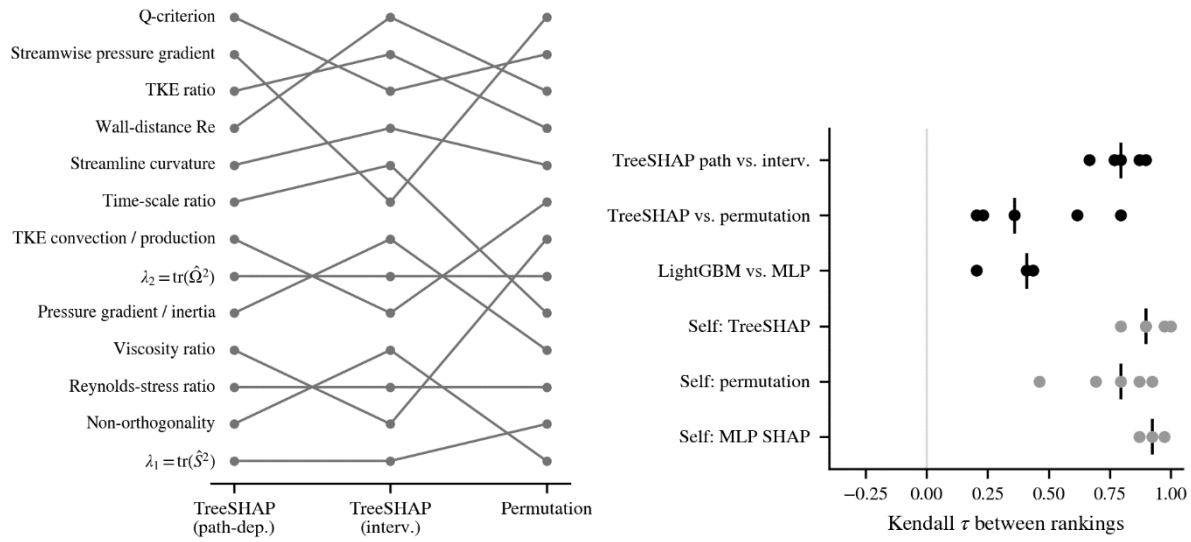


Figure 1. Shear-anisotropy discrepancy Δb_{12} on the curved backward-facing step: (a) DNS/LES minus RANS, (b) LightGBM prediction, (c) absolute error after correction, (d–f) path-dependent TreeSHAP contributions of the Q-criterion, the TKE ratio and the wall-distance Reynolds number. All 19,490 retained test points are shown; the blank band is the low-turbulence core removed by the threshold on k (Section 2.1).

3.3. Agreement between attribution methods and model classes

Figure 2(a) compares the rankings of the three attribution methods for the shear anisotropy on the curved step. Even the two TreeSHAP variants disagree on the leading feature: the path-dependent variant ranks the Q-criterion first, the interventional variant the wall-distance Reynolds number, and permutation importance the streamwise pressure gradient. Across all cases (Table 3, Fig. 2b), the two TreeSHAP variants agreed well (median $\tau = 0.79$, range 0.67–0.90), whereas permutation importance agreed poorly with path-dependent TreeSHAP (median $\tau = 0.36$, range 0.21–0.79). In four of the five cases this agreement lay below the self-agreement of both methods, so the disagreement is not a sampling artefact; the exception, the shear anisotropy on the curved step, equalled the self-agreement of TreeSHAP (0.79). Permutation importance was also the least stable method (self-agreement 0.46–0.92, lowest for the TKE discrepancy on the curved step).



(a) (b)

Figure 2. (a) Feature ranks of the three attribution methods for Δb_{12} on the curved step, computed on the same 500 test points; (b) rank agreement (Kendall's τ) between methods and model classes (black) and self-agreement of each method on two disjoint samples (grey, noise floor). In (b), TreeSHAP vs. permutation refers to the path-dependent variant; dots are test cases and targets, and bars are medians.

Interventional TreeSHAP, which breaks the dependence between features as permutation importance does, agreed with permutation importance no better than the path-dependent variant (median $\tau = 0.44$ versus 0.36, range 0.13–0.72; lower in three of the five cases), so feature dependence alone does not explain the disagreement. A plausible further cause is that permutation importance measures the loss of accuracy when a feature is scrambled, not its contribution to the prediction. Breaking the dependence does, however, favour the wall-distance Reynolds number, which is among the three most important features in four of the five cases for permutation importance, three for interventional and one for path-dependent TreeSHAP. Scrambling one of two strongly correlated features, here this feature and the viscosity ratio (Section 3.4), likely creates feature combinations outside the training-data distribution (Hooker et al., 2021), which may also be physically inconsistent (not tested further). For the TKE discrepancy on the curved step, for example, TreeSHAP ranks the viscosity ratio first and the wall-distance Reynolds number third, whereas permutation importance ranks the latter first and the viscosity ratio ninth. Unlike in Mandler and Weigand (2023), where permutation importance and DeepSHAP agreed globally for a single periodic-hill flow, the disagreement here affects the global rankings.

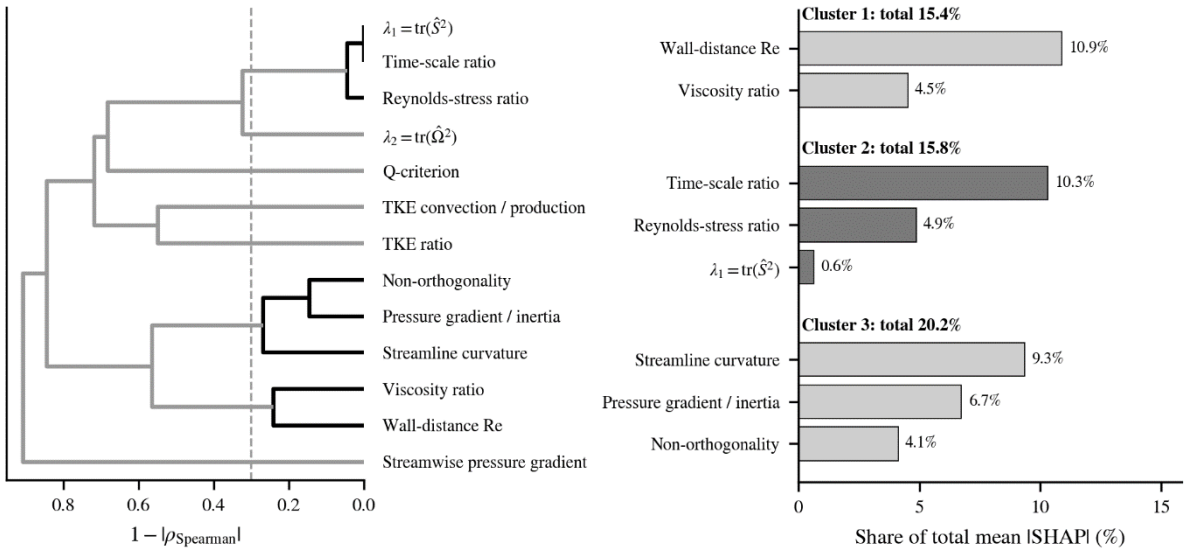
The model classes disagreed even more: for the shear anisotropy, their rankings agreed with $\tau = 0.21$–0.44, well below the self-agreement of both (TreeSHAP 0.79–0.97, MLP 0.87–0.97), although the MLP was at least as accurate on the hills. The two models shared only one of their three most important features in each test case, and the MLP ranked the streamline curvature among its top three in all cases, LightGBM in none. Models of similar accuracy can thus rely on different features, so one model's attributions need not reflect the flow physics. This qualifies the agreement of the most relevant features across model classes reported in other applications (Cremades et al., 2025).

Table 3. Rank agreement (Kendall's τ) between attribution methods and model classes, and self-agreement of each method on two disjoint test samples. Path, interv.: path-dependent and

interventional TreeSHAP; perm.: permutation importance; –: no MLP was trained for this target.

Test case	Target	Path vs. interv.	Path vs. perm.	Interv. vs. perm.	Self: TreeSHAP	Self: perm.	Self: MLP	LightGBM vs. MLP
Hill, α = 1.2	Δb_{12}	0.79	0.62	0.72	0.97	0.79	0.92	0.44
Hill, α = 1.5	Δb_{12}	0.87	0.36	0.44	0.90	0.92	0.87	0.21
Curved step	y_k	0.90	0.23	0.18	1.00	0.46	–	–
	Δb_{12}	0.67	0.79	0.51	0.79	0.87	0.97	0.41
	y_v	0.77	0.21	0.13	0.90	0.69	–	–

3.4. Correlated features



(a) (b)

Figure 3. (a) Hierarchical clustering of the input features by Spearman rank correlation (average linkage; dashed line: cut-off at $1 - |\rho| = 0.3$); (b) shares of the individual features of each correlated cluster in the summed mean $|\mathrm{SHAP}|$ of all thirteen features, for Δb_{12} on the curved step (cluster totals are sums of the individual shares).

Clustering placed eight of the thirteen features in three clusters (Fig. 3a): a strain–time-scale cluster (time-scale ratio, Reynolds-stress ratio and λ_1), a curvature cluster (streamline curvature, pressure gradient to inertia and non-orthogonality) and a near-wall cluster (wall-distance Reynolds number and viscosity ratio). The time-scale ratio and λ_1 carry identical information: with $x = \|\boldsymbol{S}\| k/\varepsilon$, $\lambda_1 = x^2$ and the time-scale ratio equals $x/(1+x)$. The Reynolds-stress ratio, which a linear eddy-viscosity model ties to the same product, is nearly redundant with both ($|\rho| > 0.9$). SHAP nevertheless split the importance very unequally: for the shear anisotropy, the time-scale ratio received 10–13% of the total and λ_1 at most 0.8% (TKE discrepancy: 3–5% and at most 0.4%). As the two features are interchangeable, this split is arbitrary and would wrongly suggest that λ_1 is irrelevant.

Grouped SHAP removes this arbitrariness. For the shear anisotropy, the strain–time-scale cluster was the most important group in all three test cases (15–20% of the total), followed by the curvature cluster (14–16%), whereas individually the TKE ratio (hills) or the Q-criterion (curved step) ranked first (12–13%). Grouping thus changes which mechanism appears dominant, although on the curved step the margin is small (15.4% versus 14.3%). Grouped

importance can also lie well below the sum of the members' importances, because correlated members may act with opposite signs at the same point: for the curvature cluster on the curved step, the individual shares sum to 20.2% (Fig. 3b) but the grouped importance is 14.3%. For the TKE discrepancy, grouping confirmed the individual ranking: the near-wall cluster dominated in all three test cases (37–40%), as did the viscosity ratio individually.

3.5. Stability across flows and indicators of failure

Figure 4(a) shows the normalised SHAP profiles of the 13 leave-one-case-out folds. The explanations were largely stable: each fold agreed with the consensus profile with $\tau = 0.69$–0.87 (median 0.77). The leading feature nevertheless depended on the flow family: the time-scale ratio for all five hills and four of the five bumps, the wall-distance Reynolds number for both channel cases and, narrowly, the curved step. The correction was least effective for the curved step and the channel at a Reynolds number of 20,580 (error reductions of 26% each) and for the hill with $\alpha = 0.5$ (41%), at the edge of the hill family. These values differ slightly from Table 2 because the folds used a smaller model and training sample.

Of the two candidate indicators of a failing correction (Figs 4b and 4c), the fraction of test points outside the training range did not predict the error reduction (Spearman $\rho = -0.31$, $p = 0.31$). The bump with a height of 42 mm shows why: despite the largest out-of-range fraction (20%), its error reduction was 60%, because its out-of-range points arise mainly from the viscosity ratio (13% of the points), which ranked only eighth of the thirteen features in this fold; out-of-range inputs presumably matter only where the model relies on them. The agreement of a fold's SHAP profile with the consensus was a better, though weak, indicator ($\rho = 0.58$, $p = 0.04$): corrections whose explanations deviated from the consensus tended to be less accurate. With 13 folds and p close to 0.05, this is suggestive rather than conclusive, but monitoring the explanations on a new flow may reveal more than monitoring the inputs, a question related to the cross-flow importance analysis proposed by McConkey et al. (2022).

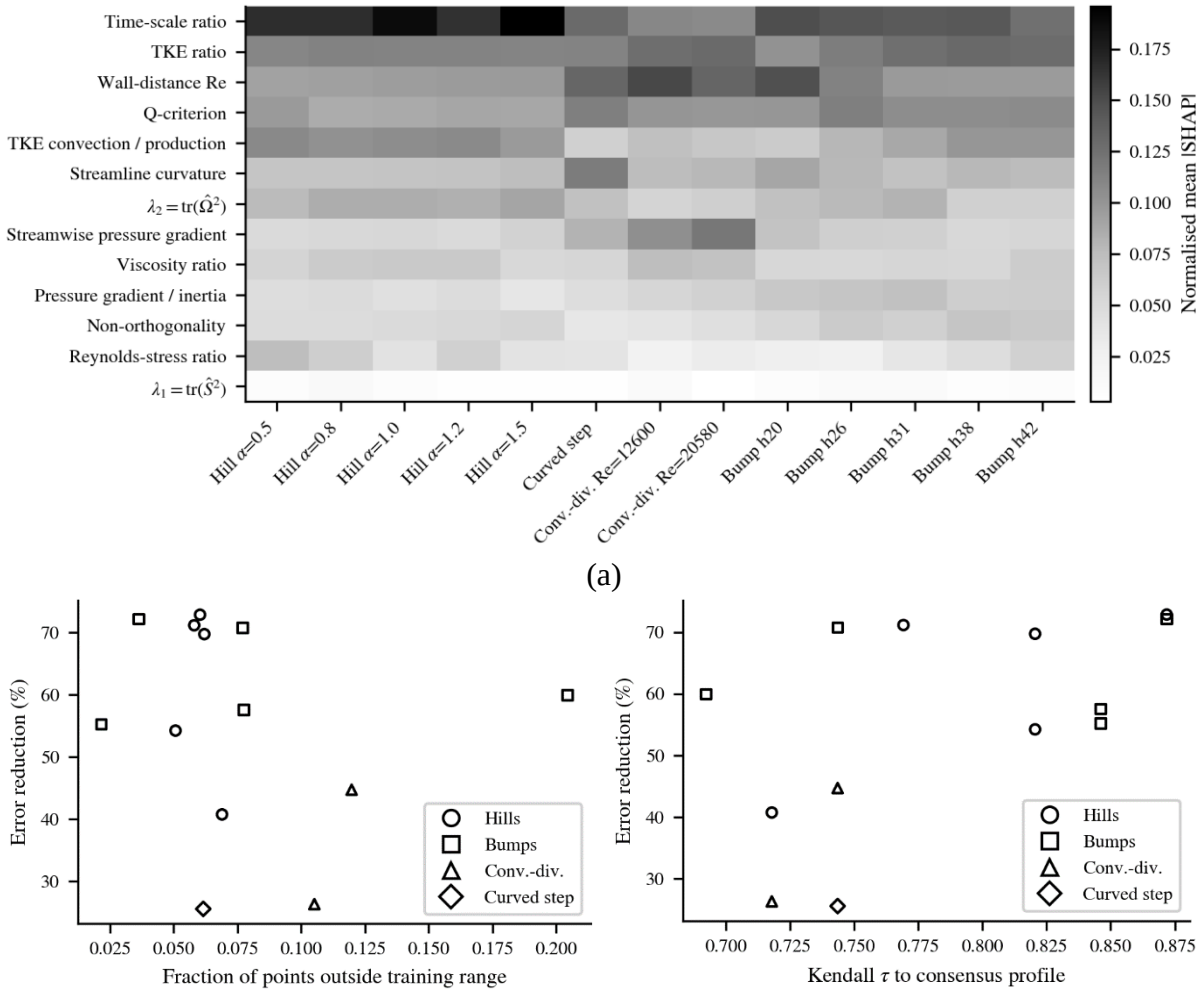


Figure 4. Leave-one-case-out analysis for Δb_{12}: (a) normalised mean |SHAP| profile of each held-out case; error reduction versus (b) the fraction of points outside the training range and (c) the agreement (Kendall's τ) of the fold's profile with the consensus profile.

4. CONCLUSIONS

In this study, SHAP explanations of ML corrections of the k–ω SST model proved less robust than their physical plausibility suggests. The corrections, trained on the open dataset of McConkey et al. (2021), were accurate for a hill within the training range but lost much of their benefit for a steeper hill and especially for the curved step. Although the two TreeSHAP variants largely agreed, permutation importance disagreed with path-dependent TreeSHAP beyond sampling noise in four of five cases, and two model classes of similar accuracy on the hills relied on different features. Correlated features shared importance arbitrarily, and grouping them changed which mechanism appeared dominant for the shear anisotropy. The explanations were largely stable across flows; their deviation from the consensus weakly indicated a failing correction, whereas the fraction of out-of-range inputs did not.

Four practical steps follow: group strongly correlated features before interpreting their attributions, compare at least two attribution methods and two model classes, report the sampling noise of the importance estimates, and monitor how the explanations change on new flows. The study is limited to a priori analysis of one baseline model, two-dimensional flows and one training seed; the importance estimates rest on 500–1,000 points; about 48% of the curved-step points were excluded as low-turbulence regions; the primary target depends on the

coordinate frame; and the failure-indicator correlation rests on 13 folds. Future work will include a-posteriori RANS computations, a benchmark with known attributions, and further baseline models and flows.

REFERENCES

Aas, K., Jullum, M., & Løland, A. (2021). Explaining individual predictions when features are dependent: More accurate approximations to Shapley values. *Artificial Intelligence*, *298*, 103502. https://doi.org/10.1016/j.artint.2021.103502

Alhafiz, M. R., Zuhal, L. R., Dung, D. V., & Palar, P. S. (2025). An explainable deep learning for data-driven turbulence model feature discovery. *IEEE Access*, *13*, 149801–149816. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2025.3602021

Avsar, R. (2026). Enhancing prognostic model interpretability for advanced engine failure prediction using prognostic metrics and explainable AI. *The Aeronautical Journal*, *130*(1347), 1683–1704. https://doi.org/10.1017/aer.2026.10139

Balakrishnan, U., Rider, W. J., & Parish, E. J. (2026). Explainable scientific machine learning for data-driven turbulence models. In *Proceedings of the ASME 2026 Verification, Validation, and Uncertainty Quantification Symposium* (Paper V001T04A001). American Society of Mechanical Engineers. https://doi.org/10.1115/vvuq2026-183614

Breiman, L. (2001). Random forests. *Machine Learning*, *45*(1), 5–32. https://doi.org/10.1023/A:1010933404324

Brener, B. P., Cruz, M. A., Thompson, R. L., & Anjos, R. P. (2021). Conditioning and accurate solutions of Reynolds average Navier–Stokes equations with data-driven turbulence closures. *Journal of Fluid Mechanics*, *915*, A110. https://doi.org/10.1017/jfm.2021.148

Cremades, A., Hoyas, S., & Vinuesa, R. (2025). Additive-feature-attribution methods: A review on explainable artificial intelligence for fluid dynamics and heat transfer. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, *112*, 109662. https://doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2024.109662

Duraisamy, K. (2021). Perspectives on machine learning-augmented Reynolds-averaged and large eddy simulation models of turbulence. *Physical Review Fluids*, *6*(5), 050504. https://doi.org/10.1103/PhysRevFluids.6.050504

He, X., Tan, J., Rigas, G., & Vahdati, M. (2022). On the explainability of machine-learning-assisted turbulence modeling for transonic flows. *International Journal of Heat and Fluid Flow*, *97*, 109038. https://doi.org/10.1016/j.ijheatfluidflow.2022.109038

Hooker, G., Mentch, L., & Zhou, S. (2021). Unrestricted permutation forces extrapolation: Variable importance requires at least one more model, or there is no free variable importance. *Statistics and Computing*, *31*(6), 82. https://doi.org/10.1007/s11222-021-10057-z

Ke, G., Meng, Q., Finley, T., Wang, T., Chen, W., Ma, W., Ye, Q., & Liu, T.-Y. (2017). LightGBM: A highly efficient gradient boosting decision tree. *Advances in Neural Information Processing Systems*, *30*. https://proceedings.neurips.cc/paper/2017/hash/6449f44a102fde848669bdd9eb6b76fa-Abstract.html

Ling, J., & Templeton, J. (2015). Evaluation of machine learning algorithms for prediction of regions of high Reynolds averaged Navier Stokes uncertainty. *Physics of Fluids*, *27*(8), 085103. https://doi.org/10.1063/1.4927765

Lundberg, S. M., Erion, G., Chen, H., DeGrave, A., Prutkin, J. M., Nair, B., Katz, R., Himmelfarb, J., Bansal, N., & Lee, S.-I. (2020). From local explanations to global understanding with explainable AI for trees. *Nature Machine Intelligence*, *2*(1), 56–67. https://doi.org/10.1038/s42256-019-0138-9

Lundberg, S. M., & Lee, S.-I. (2017). A unified approach to interpreting model predictions. *Advances in Neural Information Processing Systems*, *30*. https://proceedings.neurips.cc/paper/2017/hash/8a20a8621978632d76c43dfd28b67767-Abstract.html

Mandler, H., & Weigand, B. (2023). Feature importance in neural networks as a means of interpretation for data-driven turbulence models. *Computers & Fluids*, *265*, 105993. https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2023.105993

McConkey, R., Buchanan, T., Smidt, T., Bodner, A., Dwight, R., & Cinnella, P. (2026). *The Closure Challenge: A benchmark task for machine learning in turbulence modelling* (arXiv:2603.28884). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2603.28884

McConkey, R., Yee, E., & Lien, F.-S. (2021). A curated dataset for data-driven turbulence modelling. *Scientific Data*, *8*(1), 255. https://doi.org/10.1038/s41597-021-01034-2

McConkey, R., Yee, E., & Lien, F.-S. (2022). Deep structured neural networks for turbulence closure modeling. *Physics of Fluids*, *34*(3), 035110. https://doi.org/10.1063/5.0083074

McConkey, R., Yee, E., & Lien, F.-S. (2025). *Turbulence modelling using machine learning* (Version 6) [Data set]. Kaggle. https://doi.org/10.34740/kaggle/dsv/10463446

Menter, F. R., Kuntz, M., & Langtry, R. (2003). Ten years of industrial experience with the SST turbulence model. In K. Hanjalić, Y. Nagano, & M. Tummers (Eds.), *Turbulence, heat and mass transfer 4* (pp. 625–632). Begell House.

Pope, S. B. (1975). A more general effective-viscosity hypothesis. *Journal of Fluid Mechanics*, *72*(2), 331–340. https://doi.org/10.1017/S0022112075003382

Strobl, C., Boulesteix, A.-L., Kneib, T., Augustin, T., & Zeileis, A. (2008). Conditional variable importance for random forests. *BMC Bioinformatics*, *9*(1), 307. https://doi.org/10.1186/1471-2105-9-307

Wang, J.-X., Wu, J.-L., & Xiao, H. (2017). Physics-informed machine learning approach for reconstructing Reynolds stress modeling discrepancies based on DNS data. *Physical Review Fluids*, *2*(3), 034603. https://doi.org/10.1103/PhysRevFluids.2.034603

Wu, C., Wang, S., Zhang, X.-L., & He, G. (2023). Explainability analysis of neural network-based turbulence modeling for transonic axial compressor rotor flows. *Aerospace Science and Technology*, *141*, 108542. https://doi.org/10.1016/j.ast.2023.108542

Wu, J., Xiao, H., Sun, R., & Wang, Q. (2019). Reynolds-averaged Navier–Stokes equations with explicit data-driven Reynolds stress closure can be ill-conditioned. *Journal of Fluid Mechanics*, *869*, 553–586. https://doi.org/10.1017/jfm.2019.205

AİLE İÇİ ŞİDDET VE KİŞİLİK ÖZELLİKLERİ: BEŞ FAKTÖR KİŞİLİK MODELİ ÇERÇEVESİNDE KURAMSAL BİR DEĞERLENDİRME

Öğr.Gör. Dr. Gülnihal ALTUN
Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Gölhisar Vocational School, Health Care Services Department, Home Patient Care Program, Ageing Studies Application and Research Centre, Burdur
ORCID:0000-0001-9339-1343

ÖZ
Kişilik özellikleri, bireylerin düşünme, hissetme ve davranma biçimlerinde görece süreklilik gösteren eğilimleri ifade etmekte; kişilerarası ilişkilerde iletişim, çatışma çözme, duygusal tepki verme ve saldırgan davranış örüntülerinin anlaşılmasında önemli bir çerçeve sunmaktadır. Bu bildirinin amacı, Beş Faktör Kişilik Modeli kapsamında dışadönüklük, nevrotiklik, sorumluluk (vicdanlılık), uyumluluk ve deneyime açıklık boyutlarını ele almak ve bu özelliklerin aile içi şiddet ile ilişkisini mevcut literatür doğrultusunda değerlendirmektir. Çalışma, konuya ilişkin kuramsal ve ampirik çalışmaların incelendiği anlatısal bir derleme niteliğindedir. Literatür, kişilik ile saldırganlık ve yakın partner şiddeti arasındaki ilişkinin tek yönlü ve deterministik olmadığını; özellikle nevrotiklik, düşük uyumluluk ve bazı çalışmalarda düşük sorumluluk düzeylerinin saldırganlık ya da şiddet davranışlarıyla daha tutarlı ilişkiler gösterebildiğini ortaya koymaktadır. Buna karşılık dışadönüklük ve deneyime açıklık boyutlarına ilişkin bulgular daha değişkendir. Kişilik özelliklerinin şiddetin tek başına nedeni olarak değerlendirilmemesi; bireysel özelliklerin ilişkisel, sosyal, kültürel ve çevresel etmenlerle birlikte ele alınması gerekmektedir. Sonuç olarak Beş Faktör Kişilik Modeli, aile içi şiddetin bireysel düzeydeki bazı risk ve koruyucu örüntülerini anlamaya katkı sağlayan bir çerçeve sunmakla birlikte, şiddetin çok boyutlu yapısını açıklamak için tek başına yeterli değildir.
Anahtar Kelimeler: Kişilik, Beş Faktör Kişilik Modeli, aile içi şiddet, yakın partner şiddeti, saldırganlık.

DOMESTIC VIOLENCE AND PERSONALITY TRAITS: A THEORETICAL EVALUATION WITHIN THE FRAMEWORK OF THE FIVE-FACTOR MODEL OF PERSONALITY

ABSTRACT
Personality traits refer to relatively stable patterns in individuals' ways of thinking, feeling, and behaving and provide an important framework for understanding communication, conflict resolution, emotion regulation, and aggressive behavior in interpersonal relationships. This study aims to examine extraversion, neuroticism, conscientiousness, agreeableness, and openness to experience within the Five-Factor Model of personality and to evaluate their associations with domestic violence in light of the existing literature. The study is a narrative review of relevant theoretical and empirical research. The literature indicates that the relationship between personality traits and aggression or violent behavior is neither uniform nor unidirectional. In particular, higher neuroticism and lower agreeableness have been more consistently associated with aggressive behavior, while lower conscientiousness has also been identified as a potential risk factor for violence and aggression in some studies. Findings regarding extraversion and openness to experience are more variable. Nevertheless, personality traits should not be considered direct causes of domestic violence. Violence is a

multidimensional phenomenon arising from the interaction of individual, relational, social, cultural, and environmental factors. In conclusion, the Five-Factor Model contributes to understanding certain individual risk and protective characteristics associated with domestic violence; however, a broader psychosocial context should be considered when explaining violent behavior.
Keywords: Personality, Five-Factor Model, domestic violence, intimate partner violence, aggression.

1. Kişilik Kavramı

Kişilik, bireyin düşünme, hissetme ve davranma biçimlerini belirleyen, onu başkalarından ayıran görece kalıcı bir yapı olarak tanımlanmaktadır (Nasello ve diğ., 2023). Bireyin yaşam boyunca geliştirdiği davranış kalıpları ve duygusal eğilimleriyle sosyal çevresi arasındaki etkileşimi düzenleyen dinamik bir yapı olan kişilik, sosyal davranışların ve kişilerarası ilişkilerin anlaşılmasında önemli bir yere sahiptir. Psikoloji literatüründe kişilik özelliklerinin saldırganlık ve şiddet davranışlarıyla ilişkisi uzun süredir incelenmektedir. Barlett ve Anderson (2012), Beş Faktör kişilik özellikleri ile saldırgan ve şiddet içeren davranışlar arasındaki ilişkilerin kişilik boyutuna ve saldırganlığın türüne göre değişebildiğini göstermiştir.

Aile içi şiddet ise yalnızca fiziksel saldırganlığı değil; psikolojik, ekonomik ve cinsel şiddet gibi farklı davranış biçimlerini içeren çok boyutlu bir olgudur. Bu nedenle kişilik özelliklerinin aile içi şiddet bağlamında incelenmesi, şiddeti kişilikle açıklamak ya da belirli kişilik özelliklerine sahip bireyleri şiddetle özdeşleştirmek amacı taşımamalıdır. Daha çok kişilik özelliklerinin çatışmaya verilen tepkiler, duygu düzenleme, saldırgan tutumlar ve kişilerarası davranışlarla nasıl ilişkilenebildiğini anlamaya yönelik bir çerçeve olarak değerlendirilmelidir.

2. Beş Faktör Kişilik Modeli ve Boyutları

Beş Faktör Kişilik Modeli, bireylerin kişilik yapılarını açıklamak amacıyla geliştirilen ve psikoloji alanında yaygın olarak kullanılan kuramsal yaklaşımlardan biridir. Model kişiliği dışadönüklük, nevrotiklik, sorumluluk (vicdanlılık), uyumluluk ve deneyime açıklık olmak üzere beş temel boyut üzerinden ele almaktadır. Bu boyutlar bireylerin davranışsal, duygusal ve bilişsel eğilimlerindeki farklılıkları sistematik biçimde değerlendirmeye olanak sağlamaktadır (Soto & Jackson, 2020). Model, saldırganlık ve şiddet davranışlarının incelenmesinde de kullanılmakta; özellikle duygu düzenleme, çatışma çözme ve saldırgan tepkilerle ilişkili bireysel farklılıkların anlaşılmasına katkı sunmaktadır (Barlett & Anderson, 2012; Dorling ve diğ., 2025).

Beş Faktör boyutlarının aile içi şiddetle ilişkisi aynı düzeyde ve aynı yönde değildir. Bazı özellikler saldırgan davranışlarla daha tutarlı ilişkiler gösterirken bazı boyutlara ilişkin bulgular çelişkilidir. Bu nedenle kişilik boyutlarının her birinin ayrı ayrı ele alınması ve daha sonra aile içi şiddet bağlamında birlikte değerlendirilmesi önemlidir.

2.1.Dışadönüklük

Dışadönüklük, bireylerin dış dünyayla etkileşim kurma, sosyal ortamlarda bulunma ve olumlu duyguları deneyimleme eğilimlerini yansıtan temel bir kişilik özelliğidir (Rossberger, 2014). Bu kişilik boyutu; enerjik, konuşkan, girişken, iyimser ve sosyal etkileşime açık bireyleri tanımlar. Dışa dönük bireyler genellikle yüksek düzeyde coşku, özgüven ve etkinlik arayışı sergilerken, çevreleriyle kolaylıkla iletişim kurabilmekte ve sosyal ilişkilerde baskın bir rol üstlenebilmektedirler (Soto & Jackson, 2020).

Literatürde dışadönüklük, en çok incelenen kişilik boyutlarından biri olup, bireyin enerjisini dış çevreye yöneltmesiyle ilişkilidir. Bu kişiler genellikle hevesli, maceracı, açık sözlü ve liderlik eğilimleri taşıyan bireyler olarak betimlenmektedir (Çiçek & Aslan, 2020). Sosyal ortamlarda aktif olma, farklı deneyimlere açıklık ve eğlence arayışı gibi özellikler, dışa dönük bireylerin

sosyal yaşamda daha görünür ve katılımcı olmalarını sağlamaktadır. Bu özellikler aynı zamanda bireyin ilişkilerde daha rahat ve etkileşim odaklı davranmasına da zemin hazırlar.

Ancak dışadönüklüğün sadece olumlu yönleri değil, bazı risk faktörleri de bulunmaktadır. Bu bireylerde dürtüsellik, risk alma davranışları ve duygular üzerinde kontrol eksikliği görülebilir. Bu durum, bazı kişilerde çabuk öfkelenme, saldırganlaşma veya güven sorunlarına yol açabilir (Barlett & Anderson, 2012). Dışadönük bireylerin sosyal etkinliklere yönelimi, ilişki dinamiklerini de etkileyebilir; geniş sosyal çevreye olan ihtiyaç, partnerle zaman geçirme beklentileri arasında denge sorunlarına neden olabilir.

Öte yandan, düşük dışadönüklük düzeyi yani içedönüklük, daha çok içe kapanıklık, sosyal ortamlarda isteksizlik ve yalnızlığı tercih etme eğilimleriyle karakterize edilir. İçe dönük bireyler genellikle derin bire bir etkileşimlere değer verirken, kalabalık sosyal ortamlarda kendilerini tükenmiş hissedebilirler. Bu durum, duyguların bastırılması ve yetersiz ifade edilmesi gibi nedenlerle şiddet davranışlarına zemin hazırlayabilecek bir risk faktörü olarak değerlendirilebilir (Barlett & Anderson, 2012).

Dışa dönüklük ile şiddet davranışları arasındaki ilişki literatürde çelişkili bulgular sunmaktadır. Bazı araştırmalar dışa dönüklüğün saldırgan davranışlarla pozitif ilişkili olabileceğini belirtirken, diğerleri bu boyutun sosyal iletişim becerilerini artırarak şiddeti azaltabileceğini öne sürmektedir. Bu çelişkiler, dışa dönüklüğün tek başına değil, diğer kişilik boyutları ve çevresel faktörlerle birlikte değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir (Ulloa ve diğ., 2016).

Sonuç olarak, dışa dönüklük bireyin sosyal yaşantısını şekillendiren önemli bir kişilik özelliğidir. Bu özelliğin hem ilişkilerdeki etkileşim kalitesini artıran hem de dürtüsel ve riskli davranışları tetikleyebilecek yönleri bulunmakta; dolayısıyla aile içi ilişkilerde potansiyel çatışma veya uyum noktaları yaratabilmektedir. Özellikle dışa ve içe dönük bireylerin ilişki içinde farklı sosyal ihtiyaçlara sahip olmaları, bu farklılıkların fark edilmesi ve yönetilmesiyle sağlıklı bir dengeye kavuşabilir.

2.2. Nevrotiklik

Nevrotiklik, bireylerin kaygı, öfke, güvensizlik ve duygusal istikrarsızlık gibi olumsuz duygulara yatkınlığını ifade eden temel bir kişilik boyutudur. Bu kişilik özelliği, özellikle insanların endişeli, düşmanca ve dürtüsel davranışlar sergileme eğilimleriyle ilişkilendirilir (Jiang ve diğ., 2022). Yüksek nevrotiklik düzeyine sahip bireyler genellikle çevresel stresörlere karşı hassas tepki verir, sıradan olayları tehdit edici olarak algılayabilir ve küçük hayal kırıklıklarını dahi aşırı duygusal tepkilerle karşılayabilirler (Soto & Jackson, 2020).

Bu kişilik özelliği, bireyin stresle başa çıkma kapasitesini zayıflatmakta ve duygusal düzenlemeyi güçleştirmektedir. Yüksek nevrotiklik, acı verici ve irrasyonel düşüncelerin daha sık yaşanmasıyla ilişkilidir ve bu da zaman zaman saldırgan davranışlara zemin hazırlayabilir (Pineda ve diğ., 2024). Ayrıca bireylerde öz-bilinç, güvensizlik, depresyon, sinirlilik ve kendine acıma gibi belirtiler de sıkça görülmektedir. Bu durum, kişinin hem kendisiyle hem de çevresiyle kurduğu ilişkilerde uyumsuzluklara yol açabilir (Dam ve diğ., 2021).

Araştırmalar, nevrotikliğin saldırganlıkla en yüksek pozitif korelasyona sahip kişilik özelliği olduğunu ortaya koymuştur (Almeida ve diğ., 2023). Duygusal istikrarsızlık, sabır eşiğinin düşmesine, uyumsuz başa çıkma stratejilerinin kullanılmasına ve ilişkilerde artan çatışma riskine neden olmaktadır. Bu bağlamda, nevrotiklik yalnızca bireyin içsel deneyimlerini değil, aynı zamanda kişilerarası etkileşimlerini de olumsuz yönde etkileyen bir faktör olarak öne çıkmaktadır (Dam, 2021; Almeida ve diğ., 2023).

İlişkilerde nevrotiklik, özellikle iletişimde bozulmalara ve duygusal yakınlığın zedelenmesine neden olabilir. Nevrotik bireyler partnerlerinin davranışlarını kolayca yanlış yorumlayabilir, reddedilme ya da ihmal edilme korkusu taşıyabilir ve bu nedenle aşırı duyarlılık gösterebilirler. Bu durum, ilişkide sürekli bir gerilim döngüsüne ve karşılıklı güvensizliğe yol açabilir

(Ahmetoğlu, Swami & Chamorro-Premuzic, 2010). Dahası, bu kişiler çoğu zaman kendi içsel olumsuzluklarını ilişkiye yansıtarak, nesnel bir temele dayanmayan memnuniyetsizlik ve hayal kırıklığı yaşayabilirler.

Nevrotiklik düzeyi düşük bireyler ise daha dengeli, sakin, öz güvenli ve duygusal olarak istikrarlı bireylerdir. Bu kişiler, stresli durumlarla daha etkili baş edebilir, duygularını düzenleme becerileri gelişmiştir ve daha az tepkisel davranırlar.

Ancak yüksek düzeyde nevrotikliğe sahip bireylerin ilişkisel zorluklar yaşaması kaçınılmaz değildir (Ahmetoğlu, Swami & Chamorro-Premuzic, 2010). Ahmetoğlu, Swami ve Chamorro-Premuzic'in (2010) çalışması, nevrotikliğin ilişki memnuniyetinde belirleyici olduğunu ortaya koymuş, nevrotikliğin ilişki memnuniyeti ile negatif ilişki içinde olduğu ve yüksek nevrotikliğe sahip bireylerin ilişkilerinden daha az tatmin oldukları belirtilmiştir

Terapötik müdahaleler, duygusal düzenleme teknikleri ve etkili iletişim stratejileri sayesinde bu bireylerin ilişkilerini daha sağlıklı hale getirmeleri mümkündür. Ayrıca, sabırlı ve destekleyici bir partnerin varlığı, nevrotik bireylerin duygusal dengesizliklerini daha iyi yönetmelerine yardımcı olabilir (Ahmetoğlu, Swami & Chamorro-Premuzic, 2010). Sonuç olarak, nevrotiklik duygusal duyarlılığı yüksek ve stresle baş etme kapasitesi sınırlı bireyleri tanımlayan önemli bir kişilik özelliğidir. Hem bireysel psikolojik sağlık hem de kişilerarası ilişkiler açısından bu özelliğin farkında olunması, olası olumsuz etkilerin önüne geçilmesinde kritik rol oynamaktadır.

2.3. Sorumluluk (Vicdanlılık)

Sorumluluk, düzenli, güvenilir ve görev bilincine sahip olma özellikleriyle tanımlanır ve genellikle saldırganlıkla negatif ilişki gösterir. Bu boyut, bireyin işleri organize etme, hedeflere kararlılıkla odaklanma ve motivasyonunu sürdürme becerisini yansıtır. Sorumluluğun alt boyutları arasında yetkinlik, düzen, itaatkârlık, başarma çabası, öz disiplin ve düşüncelilik yer almaktadır (Soto & Jackson, 2020). Yüksek sorumluluk sahibi bireyler çalışkan, disiplinli, dakik ve güvenilir olma eğilimindedir; ancak aşırı mükemmeliyetçilik, katılık ve işkoliklik gibi olumsuz yanlar da gözlenebilir.

Sorumluluk sahibi kişiler, karşılaştıkları durumları dikkatlice analiz etme ve mantıklı kararlar alma konusunda güçlüdürler (Rossberger, 2014). İlişkilerde ise güvenilirlikleri ve kararlılıkları sayesinde uzun vadeli istikrarın sağlanmasında önemli rol oynarlar. Bu bireyler taahhütlerine bağlı kalır, ilişkide uyumu korumak için çaba harcar ve ev işleri ile mali yönetim gibi pratik konularda organize hareket ederler. Öte yandan, sorumluluk düzeyindeki farklılıklar ilişkilerde çatışmaya neden olabilir; örneğin, yüksek sorumluluk sahibi bireyler, partnerlerinin daha rahat ve düzensiz tutumlarından dolayı hayal kırıklığı yaşayabilir (Ahmetoğlu, Swami & Chamorro-Premuzic, 2010).

Ayrıca, sorumluluk sahibi bireylerin empati, anlayış ve destek gibi yakınlığı güçlendiren davranışları sergileme olasılıkları yüksektir. İlişki zorlukları ve çatışmaları çözme konusunda daha istekli ve kararlıdırlar (Ahmetoğlu, Swami & Chamorro-Premuzic, 2010). Ahmetoğlu, Swami ve Chamorro-Premuzic'in (2010) çalışması, sorumluluğun ilişki memnuniyetinin en önemli belirleyicisi olduğunu ortaya koymuş; yüksek sorumluluk puanına sahip bireylerin ilişkilerinden daha fazla memnun oldukları görülmüştür.

Sonuç olarak, sorumluluk bireyin düzenli, güvenilir ve hedef odaklı olma özelliklerini yansıtırken, bu özellikler ilişkilerde istikrar ve uyumu destekler. Bu bağlamda, yüksek sorumluluk düzeyleri sağlıklı ve tatmin edici ilişkilerin temel psikolojik taşlarından biri olarak kabul edilmektedir.

2.4. Uyumluluk (Yumuşak Başlılık)

Uyumluluk, bireyin başkalarına karşı şefkatli, işbirlikçi ve empatik olma eğilimini ifade eder. Bu kişilik özelliği, çatışmadan kaçınma, uzlaşma ve başkalarının ihtiyaçlarını dikkate alma gibi

davranışlarla kendini gösterir. Yüksek uyumluluğa sahip bireyler genellikle nazik, yardımsever, bağışlayıcı ve güvene dayalı ilişkiler kurmaya yatkındır. Bu kişiler, çatışma durumlarında haklı çıkmaktan çok barış ve uyumu önceliklendirirler, bu da ilişkilerde karşılıklı anlayış ve değer görme duygusunu artırır (Ahmetoğlu, Swami & Chamorro-Premuzic, 2010).

Uyumluluğun alt boyutları güven, açık sözlülük, özgecilik, alçakgönüllülük ve hassas fikirlilik olarak tanımlanır. Yüksek uyumluluk düzeyine sahip bireyler, işbirliği yapmayı, sosyal uyumu sağlamayı ve başkalarına karşı olumlu, iyimser bir tutum sergilemeyi benimserler (Rossberger, 2014). Bu özellikler, yakın ilişkilerde mutluluk ve tatmin duygusunu desteklerken, saldırgan davranışların ortaya çıkma olasılığını azaltır (Jiang ve diğ., 2022).

Öte yandan, düşük uyumluluğa sahip kişiler daha alaycı, eleştirel, kindar ve işbirliğine kapalı olabilir; bu da ilişkilerde gerilim ve çatışmalara yol açabilir. Uyumluluk düzeyi düşük bireylerin inatçılığı ve uzlaşmaya istekli olmamaları, özellikle partnerler arasında gerginlik yaratma potansiyeline sahiptir (Ahmetoğlu, Swami & Chamorro-Premuzic, 2010).

Sonuç olarak, uyumluluk kişilik özellikleri arasında sosyal işlevselliği ve ilişki kalitesini etkileyen önemli bir faktördür. Uyumluluk düzeyi yüksek bireyler, empati kurma, işbirliği yapma ve çatışmaları çözme yetenekleri sayesinde daha sağlıklı ve uzun ömürlü sosyal bağlar oluştururlar; bu da hem bireysel hem de karşılıklı uyumun güçlenmesini sağlar. Öte yandan, düşük uyumluluk sosyal çatışmaların, ilişki sorunlarının ve saldırgan davranışların artmasına yol açan önemli bir risk unsuru olarak karşımıza çıkar. Bu nedenle, uyumluluğun kişilik yapısındaki önemi, bireysel davranışların anlaşılması ve psikososyal müdahalelerin yönlendirilmesi açısından büyük bir değer taşımaktadır (Ulloa ve diğ., 2016).

2.5. Deneyime Açıklık

Deneyime açıklık, bireylerin entelektüel merak düzeylerini, yeni deneyimlere açıklıklarını, hayal gücü kapasitelerini ve özgün düşünme biçimlerini yansıtan temel bir kişilik boyutudur (Rossberger, 2014). Bu özellik, yaratıcı, orijinal, yeniliğe açık, estetik duyarlılığı yüksek ve soyut kavramlara ilgi duyan bireylerle ilişkilendirilir (Costa & McCrae, 1992). Açıklığı yüksek bireyler farklı bakış açılarına karşı hoşgörülü, deneysel öğrenmeye yatkın ve çeşitli yaşam tarzlarına karşı esnek tutumlar sergilemektedirler.

Bu bireyler genellikle sıradışı deneyimlere ilgi duyar, entelektüel olarak kendilerini geliştirmeye açık olur ve farklı değer sistemlerini anlamaya isteklidir. Buna karşılık, açıklığı düşük bireyler daha muhafazakâr, geleneksel değerlere bağlı ve tanıdık rutine öncelik veren bir eğilim gösterirler. Bu kişiler yeni durumlar karşısında dirençli olabilir, değişimden rahatsızlık duyabilir ve alışılmışın dışındaki fikirleri benimsemekte zorlanabilirler.

Açıklık kişilik özelliği altı temel boyutta incelenir: fantezi, estetik, duygular, eylemler, fikirler ve değerler. Bu boyutlar, bireyin zihinsel esneklik derecesi ve yaşamın çeşitli yönlerine duyduğu ilgiyi yansıtır. Açıklığı yüksek bireyler, duygusal ve entelektüel açıdan zengin deneyimlere açık olmakla birlikte, ilişkilerde de daha anlayışlı, empatik ve çözüm odaklı davranma eğilimindedirler.

İlişkiler bağlamında açıklık, bireylerin yeni ilişki normlarını keşfetme, partnerin görüşlerine uyum sağlama ve çatışmaları yaratıcı yollarla çözme kapasitelerini artırabilir (Ahmetoğlu, Swami & Chamorro-Premuzic, 2010). Bu özellik, çiftler arasında açık iletişim ve karşılıklı anlayış zemininde işleyen sağlıklı bir dinamik geliştirebilir. Açıklığı yüksek bireyler; değişimi tehdit olarak değil, gelişim fırsatı olarak değerlendirdiğinden, ilişkideki zorlukları yenilikçi bir bakış açısıyla ele alabilir.

Öte yandan açıklığı düşük bireyler, farklı düşünce ve davranış biçimlerine daha az tolerans gösterme eğiliminde olup, ilişkilerde esneklikten yoksun kalabilir. Bu durum, partnerin daha deneysel ya da yaratıcı davranış biçimlerine karşı çatışma doğurabilir. Özellikle geleneksel

ilişki kalıplarını benimseyen bireylerin, değişen ilişki dinamiklerine uyum sağlamakta zorlanması olasıdır (Abu Raya ve diğ., 2023).

Şiddet davranışlarıyla ilişkilendirildiğinde, deneyime açıklık çoğu araştırmada saldırganlıkla doğrudan ilişkili bir değişken olarak görülmemektedir. Gleason, Jensen-Campbell ve Richardson (2004), bu kişilik özelliğinin saldırganlıkla anlamlı bir bağlantı göstermediğini öne sürerken, diğer çalışmalar daha çok nevrotiklik ve düşük uyumluluk gibi özelliklerin saldırgan davranışlarla daha güçlü ilişkili olduğunu belirtmiştir (Jiang ve diğ., 2022). Bununla birlikte, açıklığı yüksek bireylerin yeni bilgiye ve farklı bakış açılarına açık olmaları, şiddetin olası sonuçlarını daha iyi değerlendirmelerine ve risk azaltıcı stratejiler geliştirmelerine olanak tanıyabilir.

Sonuç olarak, deneyime açıklık bireyin zihinsel esnekliğini ve yaşam deneyimlerine karşı tutumunu yansıtan önemli bir kişilik özelliğidir. Bu boyut, sadece bireyin dünyaya bakışını değil, aynı zamanda kişilerarası ilişkilerdeki tutumlarını da belirlemekte; çatışma çözme, empati kurma ve değişime uyum sağlama gibi beceriler üzerinde etkili olmaktadır (Ng ve diğ., 2021).

3. Aile İçi Şiddet ve Kişilik Özellikleri Arasındaki İlişki

Aile içi şiddet ve kişilik özellikleri arasındaki ilişkiyi ele alan literatür, kişiliğin şiddet davranışını açıklamada önemli ancak tek başına yeterli olmayan bir değişken olduğunu göstermektedir. Beş Faktör modeli üzerinden yürütülen araştırmalarda özellikle düşük uyumluluk, yüksek nevrotiklik ve bazı örneklemlerde düşük sorumluluk düzeylerinin saldırganlık ya da yakın partner şiddetiyle ilişkili olabildiği; dışadönüklük ve deneyime açıklık açısından ise daha değişken sonuçlar elde edildiği görülmektedir (Barlett & Anderson, 2012; Ulloa ve diğ., 2016; Almeida ve diğ., 2023).

Barlett ve Anderson (2012), iki farklı örneklemde Beş Faktör özelliklerinin fiziksel saldırganlık ve şiddet davranışıyla doğrudan ve saldırgan tutumlar ile saldırgan duygular üzerinden dolaylı ilişkilerini incelemiştir. Bulgular, uyumluluk ve nevrotikliğin özellikle fiziksel saldırganlık açısından önemli olduğunu; ancak kişilik özellikleri ile şiddet arasındaki ilişkinin saldırganlığın türüne göre farklılaşabildiğini göstermiştir. Bu sonuç, belirli bir kişilik özelliğini doğrudan "şiddet kişiliği" olarak tanımlamanın bilimsel açıdan uygun olmadığını ortaya koymaktadır.

Yakın partner şiddetine daha doğrudan odaklanan Ulloa ve arkadaşlarının (2016) geniş ve ulusal düzeyde temsili örneklemle yürüttüğü çalışma da Beş Faktör özelliklerinin yakın partner şiddetiyle ilişkili olabileceğini göstermiştir. Aile içi şiddet şüphelilerinin değerlendirildiği Almeida ve arkadaşlarının (2023) çalışmasında ise kişilik boyutları ile fiziksel saldırganlık, öfke ve toplam saldırganlık arasında anlamlı ilişkiler bildirilmiştir. Bu çalışmalar, kişiliğin şiddet davranışına ilişkin bireysel farklılıkların anlaşılmasına katkı sağlayabileceğini göstermektedir.

Güncel literatürde önemli bir diğer nokta, araştırmaların büyük bölümünün şiddet uygulayan bireylerin kişilik örüntülerine odaklanmasıdır. Dorling ve arkadaşlarının (2025) yakın partner şiddeti uygulama davranışı ile Beş Faktör Kişilik Modeli arasındaki ilişkiyi inceleyen sistematik derlemesi, düşük uyumluluk ve yüksek nevrotikliğin şiddet uygulama davranışıyla daha tutarlı ilişkiler gösterebildiğini; diğer kişilik boyutlarında ise sonuçların daha heterojen olduğunu ortaya koymaktadır. Bu durum, kişiliğin şiddet açısından bir risk göstergesi olarak ele alınabileceğini, ancak nedensel ve tek başına açıklayıcı bir faktör olarak yorumlanmaması gerektiğini göstermektedir.

Öte yandan kişilik ve aile içi şiddet ilişkisi yalnızca şiddet uygulayan bireyler üzerinden değerlendirilmemelidir. Şiddete maruz kalan bireylerin kişilik özelliklerini inceleyen sistematik derlemeler de bulunmaktadır. Pereira ve arkadaşlarının (2020) sistematik derlemesi, yakın

partner şiddeti mağdurlarında bildirilen kişilik özelliklerinin heterojen olduğunu ve kişilik ile mağduriyet arasındaki ilişkinin basit bir nedensellik içinde ele alınamayacağını göstermektedir. Şiddete maruz kalmanın kendisi de uzun süreli stres, travmatik yaşantılar ve yaşam koşullarındaki değişimler aracılığıyla bireyin duygu, davranış ve kendilik algısını etkileyebilir. Bu nedenle mağdurun kişilik özelliklerini şiddetin nedeni gibi yorumlayan yaklaşımlardan kaçınılması önemlidir.

Sonuç olarak Beş Faktör Kişilik Modeli, aile içi şiddetin bireysel düzeydeki bazı psikolojik örüntülerini anlamada yararlı bir çerçeve sunmaktadır. Özellikle nevrotiklik ve düşük uyumluluk saldırganlık ve şiddet davranışıyla daha tutarlı ilişkiler gösterirken, sorumluluk, dışadönüklük ve deneyime açıklık boyutlarına ilişkin sonuçlar bağlama ve örnekleme göre değişebilmektedir. Ancak aile içi şiddet; kişilik özelliklerinin yanı sıra toplumsal cinsiyet normları, güç ve kontrol ilişkileri, öğrenilmiş davranışlar, ekonomik ve sosyal koşullar, ilişki dinamikleri ve çevresel etmenlerin birlikte rol oynadığı çok boyutlu bir olgudur. Bu nedenle kişilik özelliklerinin değerlendirilmesi, şiddeti kişiselleştiren ya da mağduru sorumlu tutan bir açıklama biçimine dönüşmemeli; daha geniş sosyal ve ilişkisel bağlamın bir bileşeni olarak ele alınmalıdır.

4. Sonuç

Aile içi şiddet, tek bir bireysel özelliğe ya da kişilik yapısına indirgenemeyecek kadar çok boyutlu bir olgudur. Bununla birlikte Beş Faktör Kişilik Modeli çerçevesinde yapılan çalışmalar, bazı kişilik özelliklerinin saldırganlık, kişilerarası çatışma ve şiddet davranışlarıyla ilişkili olabileceğini göstermektedir. Özellikle yüksek nevrotiklik ile düşük uyumluluk düzeylerinin saldırganlık ve çatışmalı ilişki örüntüleriyle daha sık ilişkilendirildiği; dışadönüklük, sorumluluk ve deneyime açıklık boyutlarında ise ilişkinin yönü ve gücünün araştırmalara göre farklılaşabildiği görülmektedir. Bu durum, kişilik özelliklerinin aile içi şiddeti tek başına açıklayan belirleyiciler olarak değil, şiddetin ortaya çıkması veya sürdürülmesiyle ilişkili olabilecek bireysel etmenlerden biri olarak değerlendirilmesini gerekli kılmaktadır.

Kişilik özellikleri ile aile içi şiddet arasındaki ilişkinin değerlendirilmesinde önemli bir diğer nokta, şiddetin yalnızca bireyin kişilik yapısına bağlanmasının yaratabileceği indirgemeci yaklaşımdan kaçınmaktır. Şiddet davranışı; bireysel özelliklerin yanı sıra ilişki dinamikleri, aile yapısı, öğrenilmiş davranış örüntüleri, toplumsal cinsiyet rolleri, güç ilişkileri, ekonomik ve sosyal koşullar gibi birçok etmenin karşılıklı etkileşimi içinde ortaya çıkabilmektedir. Bu nedenle belirli bir kişilik özelliğine sahip olmanın şiddet uygulamak anlamına gelmediği gibi, şiddet davranışının da yalnızca kişilik özellikleri üzerinden açıklanması mümkün değildir. Kişilik özelliklerinin incelenmesi daha çok bireyin öfke, dürtü kontrolü, stresle baş etme, kişilerarası çatışmaları yönetme ve ilişki içindeki tepkilerini anlamaya katkı sağlayabilecek bir değerlendirme alanı olarak ele alınmalıdır.

Sosyal hizmet açısından değerlendirildiğinde, kişilik özellikleri ile aile içi şiddet arasındaki ilişkinin bilinmesi, bireyi etiketlemekten çok kapsamlı bir değerlendirme yapabilmek açısından önem taşımaktadır. Sosyal hizmetin *bireyi çevresi içinde* ele alan yaklaşımı, şiddetin yalnızca bireysel özelliklere odaklanılarak açıklanmasının önüne geçmektedir. Bu doğrultuda kişilik özellikleri; aile ilişkileri, sosyal destek sistemleri, ekonomik koşullar, yaşam deneyimleri ve içinde bulunulan toplumsal çevreyle birlikte değerlendirilmelidir. Böyle bir değerlendirme, hem şiddete maruz kalan bireyin gereksinimlerinin belirlenmesine hem de şiddet davranışı gösteren bireylerle yürütülecek çalışmaların kişiye özgü biçimde planlanmasına katkı sağlayabilir.

Özellikle öfke kontrolü, dürtüsel tepkiler, düşük empati, çatışma çözme güçlükleri veya yoğun duygusal tepkiler gibi alanların değerlendirilmesi; danışmanlık, öfke yönetimi, duygu düzenleme, iletişim ve çatışma çözme becerilerinin geliştirilmesine yönelik müdahalelerin

planlanmasında yol gösterici olabilir. Bununla birlikte sosyal hizmet uygulamasının amacı, şiddeti kişilik özellikleri üzerinden gerekçelendirmek veya şiddet uygulayan bireyin sorumluluğunu azaltmak değildir. Aksine bireysel özelliklerin risk ve koruyucu faktörlerle birlikte değerlendirilmesi, şiddetin önlenmesine yönelik daha kapsamlı ve bireyselleştirilmiş müdahalelerin geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

Aile içi şiddet alanında çalışan sosyal hizmet uzmanlarının değerlendirme sürecinde yalnızca şiddet olayının kendisine değil, bireysel, ilişkisel ve çevresel etmenlerin birbiriyle nasıl etkileştiğine odaklanması önemlidir. Bu kapsamda kişilik özelliklerine ilişkin bilgi; risk değerlendirmesi, gereksinimlerin belirlenmesi, uygun hizmetlere yönlendirme ve müdahale planının oluşturulmasında değerlendirmeyi destekleyen unsurlardan biri olabilir. Ancak kişilik özelliklerinin tek başına bir risk belirleme aracı olarak kullanılmaması ve şiddet davranışına ilişkin nedensel sonuçlar çıkarılmaması gerekmektedir.

Sonuç olarak Beş Faktör Kişilik Modeli, aile içi şiddetin bireysel boyutunu anlamada yararlı bir kuramsal çerçeve sunmakla birlikte, şiddetin açıklanmasında tek başına yeterli değildir. Sosyal hizmet açısından temel gereklilik, kişilik özelliklerinden elde edilen bilgiyi bireyin aile ve ilişki örüntüleri, sosyal çevresi ve yaşam koşullarıyla bütünleştirerek değerlendirmektir**.** Bu yaklaşım, aile içi şiddetin karmaşık yapısının daha bütüncül biçimde anlaşılmasına ve önleme ile müdahale çalışmalarının bireysel farklılıkları dikkate alacak şekilde geliştirilmesine katkı sağlayabilir.

Kaynakça

Abu Raya, M., Ogunyemi, A. O., Rojas Carstensen, V., Broder, J., Illanes-Manrique, M., & Rankin, K. P. (2023). The reciprocal relationship between openness and creativity: From neurobiology to multicultural environments. Frontiers in Neurology, 14, 1235348. https://doi.org/10.3389/fneur.2023.1235348

Ahmetoğlu, G., Swami, V., & Chamorro-Premuzic, T. (2010). The relationship between dimensions of love, personality, and relationship length. Archives of Sexual Behavior, 39(5), 1181–1190. https://doi.org/10.1007/s10508-009-9515-5

Almeida, I., Pires, A. C., Nobre, C., Vicente, D., & Marques, J. (2023). Personality and aggressive behavior in a domestic violence suspects sample. Medical Sciences Forum, 22(1), 14. https://doi.org/10.3390/msf2023022014

Barlett, C. P., & Anderson, C. A. (2012). Direct and indirect relations between the Big 5 personality traits and aggressive and violent behavior. Personality and Individual Differences, 52(8), 870–875. https://doi.org/10.1016/j.paid.2012.01.029

Costa, P. T., Jr., & McCrae, R. R. (1992). Revised NEO Personality Inventory (NEO-PI-R) and NEO Five-Factor Inventory (NEO-FFI) professional manual. Psychological Assessment Resources.

Dam, V. H. (2021). Trait aggression is associated with five-factor personality traits in males. Brain and Behavior, 11(7), e02175. https://doi.org/10.1002/brb3.2175

Dorling, E., Onifade, H., & Browne, K. (2025). Intimate partner violence perpetration and the five-factor model of personality: A systematic review. Trauma, Violence, & Abuse. https://doi.org/10.1177/15248380241299431

Gleason, K. A., Jensen-Campbell, L. A., & Richardson, D. S. (2004). Agreeableness as a predictor of aggression in adolescence. Aggressive Behavior, 30(1), 43–61. https://doi.org/10.1002/ab.20002

Jiang, X., Li, X., & Wang, L. (2022). How the Big Five personality traits related to aggression from perspectives of the benign and malicious envy. BMC Psychology, 10, 203. https://doi.org/10.1186/s40359-022-00906-5

Nasello, J. A., Triffaux, J. M., & Hansenne, M. (2023). Individual differences and personality traits across situations. Current Issues in Personality Psychology, 12(2), 109–119. https://doi.org/10.5114/cipp/159942

Ng, D. X., Lin, P. K. F., Marsh, N. V., Chan, K. Q., & Ramsay, J. E. (2021). Associations between openness facets, prejudice, and tolerance: A scoping review with meta-analysis. Frontiers in Psychology, 12, 707652. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.707652

Pereira, M., Azeredo, A., Moreira, D., Brandão, I., & Almeida, J. (2020). Personality characteristics of victims of intimate partner violence: A systematic review. Aggression and Violent Behavior, 52, 101423. https://doi.org/10.1016/j.avb.2020.101423

Pineda, D., Galán, M., Martínez-Martínez, A., Andrés-Prades, P. J., García-Barceló, N., Carbonell, E. J., & González-Álvarez, J. L. (2024). Personality comparison between lethal and non-lethal intimate partner violence perpetrators and their victims. Prevention Science, 25(4), 567–577. https://doi.org/10.1007/s11121-023-01619-w

Rossberger, R. J., & Krause, D. E. (2014). Personality, culture and innovation: A national level analysis. GSTF Journal of Psychology, 1, 11. https://doi.org/10.7603/s40790-014-0011-6

Soto, C. J., & Jackson, J. J. (2020). Five-factor model of personality. In B. J. Carducci, C. S. Nave, & C. S. Mio (Eds.), Oxford Bibliographies in Psychology. Oxford University Press.

Ulloa, E. C., Hammett, J. F., O'Neal, D. N., Lydston, E. E., & Leon Aramburo, L. F. (2016). The Big Five personality traits and intimate partner violence: Findings from a large, nationally representative sample. Violence and Victims, 31(6), 1100–1115. https://doi.org/10.1891/0886-6708.VV-D-15-00055

Çiçek, İ., & Aslan, A. E. (2020). Kişilik ve Beş Faktör Kişilik Özellikleri: Kuramsal bir çerçeve. Batman Üniversitesi Yaşam Bilimleri Dergisi, 10(1), 137–147.

SOSYAL HİZMETTE YAPAY ZEKÂ DESTEKLİ KARAR VERME: MESLEKİ TAKDİR, MÜRACAATÇI KATILIMI VE MESLEKİ SORUMLULUK

Öğr.Gör. Gülnihal ALTUN
Burdur Mehmet Akif Ersoy University, Gölhisar Vocational School, Health Care Services Department, Home Patient Care Program, Ageing Studies Application and Research Centre, Burdur
ORCID:0000-0001-9339-1343

Öz
Yapay zekâ uygulamalarının sosyal hizmvd.anında kullanılmaya başlanması, sosyal hizmet uzmanlarının müracaatçıları değerlendirme ve hizmetleri planlama süreçlerini de gündeme getirmiştir. Yapay zekâ; çok sayıda bilgiyi kısa sürede inceleme, bazı riskleri fark etme ve vaka yönetimini destekleme açısından yararlı olabilir. Ancak sosyal hizmette mesleki değerlendirme yalnızca kayıtlı verilere dayanmaz. Müracaatçının yaşam koşulları, gereksinimleri, güçlü yönleri, sosyal destekleri, karşılaştığı güçlükler ve kendi anlatısı birlikte ele alınır. Bu nedenle yapay zekânın sunduğu bilgilerin sosyal hizmet uzmanının mesleki değerlendirmesinin yerini almaması önemlidir. Bu çalışmanın amacı, yapay zekâ kullanımının sosyal hizmet uzmanının mesleki takdirine, müracaatçının karar sürecine katılımına ve mesleki sorumluluğa olası etkilerini güncel çalışmalar üzerinden tartışmaktır. Araştırmalar, sosyal hizmette yapay zekâ kullanımının henüz gelişmekte olduğunu ve mevcut uygulamalarda sosyal hizmet uzmanının mesleki değerlendirmesinin önemini koruduğunu göstermektedir (Gardiner vd., 2026; Li vd., 2026; Zhao vd., 2026). Bununla birlikte yapay zekâya gereğinden fazla güvenilmesi, sistemde yer almayan bilgilerin gözden kaçması, bazı gruplar açısından ayrımcı sonuçların ortaya çıkması ve verilen kararın gerekçesinin açıklanamaması gibi sorunlar da bulunmaktadır (Meilvang & Dahler, 2024; Reamer, 2023; Schweiger, 2026). Bu nedenle yapay zekânın sosyal hizmet uzmanının yerine karar veren bir araç olarak değil, vaka değerlendirmesini destekleyen ek bir bilgi kaynağı olarak kullanılması gerektiği düşünülmektedir. Yapay zekâ kullanılırken müracaatçının katılımı, kendi kaderini tayin hakkı, insan onuru, sosyal adalet ve mesleki sorumluluk ilkelerinin korunması önem taşımaktadır.
Anahtar Kelimeler: Sosyal hizmet, yapay zekâ, vaka değerlendirmesi, mesleki takdir, mesleki sorumluluk.

ALGORITHMIC DECISION-MAKING IN SOCIAL WORK: PROFESSIONAL DISCRETION, HUMAN-AI COLLABORATION, AND ACCOUNTABILITY

Abstract
The increasing use of artificial intelligence (AI) in social work has raised important questions about professional judgement, service user participation, and professional responsibility. AI can support social workers by processing large amounts of information, identifying potential risks, and assisting with case management. However, social work assessment cannot be based solely on recorded data. Understanding a service user's needs requires consideration of their living conditions, social environment, strengths, difficulties, support systems, and own account of their situation. Therefore, information provided by AI should support rather than replace the professional assessment of social workers. This study discusses the possible effects of AI use on professional discretion, service user participation in decision-making, and professional responsibility in light of current literature. Existing studies indicate that the use of AI in social work is still developing and that professional judgement remains central to practice. At the same

time, concerns have been raised regarding overreliance on AI, the possibility of overlooking information that is not represented in digital records, biased outcomes, and difficulties in explaining AI-supported decisions. Accordingly, AI should be considered an additional source of information within case assessment rather than an independent decision-maker. Its use in social work should remain consistent with the profession's core principles, including human dignity, social justice, self-determination, individualized assessment, service user participation, and professional responsibility.
Keywords: Social work, artificial intelligence, case assessment, professional discretion, professional responsibility.

1. Giriş

Yapay zekâ sosyal hizmvd.anında giderek daha fazla tartışılmaktadır. Yapay zekâdan; risklerin belirlenmesi, müracaatçıların gereksinimlerinin değerlendirilmesi, vaka yönetimi, kayıtların incelenmesi ve hizmetlerin izlenmesi gibi alanlarda yararlanılabileceği belirtilmektedir. Reamer (2023), yapay zekânın sosyal hizmette risk değerlendirmesi, kriz desteği ve hizmet sonuçlarının değerlendirilmesi gibi farklı amaçlarla kullanılabileceğini ifade etmektedir. Li vd. (2026) tarafından yapılan sistematik derlemede de yapay zekânın vaka yönetiminde karar vermeyi destekleme, hizmet gereksinimlerini belirleme, riskleri fark etme ve hizmet sürecini izleme gibi alanlarda kullanılabildiği görülmüştür.

Bununla birlikte sosyal hizmette yapay zekâ kullanımına ilişkin araştırmalar henüz sınırlıdır. Garkisch ve Goldkind (2025), sosyal hizmet ve yapay zekâ ilişkisini inceleyen çalışmaların önemli bir bölümünün tartışma ve model geliştirme düzeyinde kaldığını belirtmektedir. Gardiner vd. (2026) de sosyal hizmette yapay zekânın olası yararlarının yanında etik sorunların, mesleki değerlendirmenin ve sosyal hizmet uzmanlarının bu alandaki bilgi ve becerilerinin önemli olduğunu göstermiştir. Zhao vd. (2026) ise çocuk ve gençlerle sosyal hizmet uygulamalarını inceleyen derlemelerinde, yapay zekânın etkisini doğrudan değerlendiren araştırmaların az olduğunu ve sonuçların henüz kesin olmadığını bildirmiştir.

Sosyal hizmet açısından önemli olan nokta, yapay zekânın sunduğu bilginin mesleki değerlendirmede nasıl kullanılacağıdır. Sosyal hizmet uzmanı müracaatçıyı yalnızca dosyada bulunan bilgiler üzerinden değerlendirmez. Görüşme sırasında elde edilen bilgiler, kişinin aile ve sosyal çevresi, ekonomik koşulları, güçlü yönleri, destek kaynakları, gereksinimleri ve kendi tercihleri de değerlendirmeye dâhil edilir. Bu nedenle sistem tarafından üretilen bir öneri, sosyal hizmet uzmanının bütüncül değerlendirmesinin yerine geçmemelidir (Gair, 2026).

Bu çalışmada yapay zekâ kullanımının sosyal hizmet uzmanının müracaatçıyı değerlendirme ve mesleki karar verme sürecine nasıl yansıyabileceği ele alınmaktadır. Özellikle sosyal hizmet uzmanının mesleki takdirinin korunması, müracaatçının kendi yaşamıyla ilgili kararlara katılımı ve yapay zekâ desteğiyle alınan kararlarda sorumluluğun nasıl ele alınması gerektiği üzerinde durulmaktadır.

2. Yapay Zekâ Destekli Vaka Değerlendirmesi ve Mesleki Takdir

Sosyal hizmette yapay zekâ kullanımının sağlayabileceği yararlardan biri, çok sayıda bilgiyi kısa sürede inceleyerek sosyal hizmet uzmanına ek bilgi sunmasıdır. Bu tür sistemlerin benzer vakalarda daha tutarlı değerlendirmeler yapılmasına yardımcı olabileceği de düşünülmektedir. Meilvang ve Dahler (2024), Danimarka'da çocuklar ve ailelerle çalışan sosyal hizmet uzmanları için geliştirilen üç karar destek sistemini incelemiştir. Bu sistemlerin vaka değerlendirmelerini daha düzenli hâle getirmek ve kişisel yanlılıkları azaltmak amacıyla geliştirildiği görülmüştür. Ancak çalışma, sistemlerin hangi bilginin önemli kabul edildiğini etkileyerek sosyal hizmet uzmanının mesleki değerlendirmesini de yönlendirebileceğini göstermiştir.

Mesleki takdir sosyal hizmet uygulamasının temel parçalarından biridir. Çünkü aynı sorunla

başvuran iki müracaatçının yaşam koşulları, destek kaynakları, gereksinimleri ve baş etme biçimleri birbirinden farklı olabilir. Sosyal hizmet uzmanı bu farklılıkları dikkate alarak bireyselleştirilmiş bir değerlendirme yapar. Görüşmede ortaya çıkan yeni bilgiler, müracaatçının kendi anlatısı ve sosyal çevresine ilişkin bilgiler her zaman mevcut kayıtlarda bulunmayabilir. Bu nedenle yalnızca sistemde bulunan verilere dayalı bir değerlendirme müracaatçının güncel durumunu tam olarak yansıtmayabilir.

Christensen ve Petersen (2026), sosyal hizmet uzmanları ile bilişim uzmanlarının birlikte geliştirmeye çalıştıkları yapay zekâ destekli vaka yönetim sistemini incelemiştir. Çalışmada sosyal hizmet uzmanları, vaka değerlendirmesinin her zaman önceden belirlenmiş kurallara göre yürütülemeyeceğini ve mesleki takdire ihtiyaç duyduklarını vurgulamıştır. Bu bulgu, sosyal hizmette her müracaatçının kendi koşulları içinde değerlendirilmesinin önemini göstermektedir.

Bu nedenle yapay zekâ tarafından sunulan bilgi, sosyal hizmet uzmanının kararını belirleyen tek unsur olmamalıdır. Sistem bir riski fark etmeye, eksik bir bilgiyi görmeye veya vaka hakkında ek bilgi sağlamaya yardımcı olabilir. Ancak müracaatçının hangi gereksiniminin öncelikli olduğuna ve hangi hizmetin uygun olduğuna ilişkin son değerlendirmede sosyal hizmet uzmanının görüşmesi, gözlemi, mesleki bilgisi ve müracaatçının yaşam koşulları birlikte dikkate alınmalıdır. Gair (2026), yapay zekâya aşırı güvenmenin zaman içinde bağımsız mesleki değerlendirme becerisini zayıflatabileceğine dikkat çekmektedir.

3. Yapay Zekâ Kullanımında Mesleki Değerlendirmenin Korunması

Yapay zekâ sosyal hizmet uzmanının işini kolaylaştırabilir; ancak sosyal hizmet uzmanının yerini alması beklenmemelidir. Hwang (2026), yapay zekânın mesleki değerlendirmeyi desteklediği durumlarla, karar verme sürecini büyük ölçüde üstlendiği durumların birbirinden ayrılması gerektiğini belirtmektedir. Boetto (2026) da yapay zekânın sosyal hizmetin temel yöntemlerinin ve insan ilişkisinin yerine geçmemesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Sosyal hizmet uzmanının karar sürecinde bulunması tek başına yeterli değildir. Uzmanın sistemin sunduğu bilgiyi anlayabilmesi, müracaatçının durumuyla karşılaştırabilmesi ve uygun bulmadığında farklı bir mesleki karar verebilmesi gerekir. Hwang (2026), gerçek bir insan denetiminin ancak uzmanın karar verme yetkisini koruması ve yapay zekânın önerisine uymama hakkına sahip olmasıyla mümkün olacağını belirtmektedir.

Schweiger (2026), özellikle çocuk refahı alanında yapay zekâ tarafından verilen önerilere gereğinden fazla güvenilmesinin önemli bir risk olduğunu belirtmektedir. Sosyal hizmet uzmanı sistem tarafından verilen bir risk puanını kesin bir sonuç gibi kabul ederse, müracaatçının görüşme sırasında aktardığı bilgiler ikinci planda kalabilir. Bu durum yalnızca mesleki değerlendirmeyi değil, müracaatçının kendi yaşamı hakkında verilen kararlara katılımını da olumsuz etkileyebilir.

Bu nedenle yapay zekâdan gelen bilgi, vaka değerlendirmesinde yararlanılan kaynaklardan biri olarak görülmelidir. Sosyal hizmet uzmanı bu bilgiyi müracaatçıyla yaptığı görüşme, gözlemleri ve diğer mesleki bilgilerle birlikte değerlendirmelidir. Yapay zekânın önerisi müracaatçının gerçek yaşam koşullarıyla uyuşmuyorsa uzman farklı bir karar verebilmelidir. Mesleki takdirin korunması teknolojiyi reddetmek değil, teknolojiyi sosyal hizmetin amaçlarına uygun biçimde kullanmak anlamına gelmektedir.

4. Müracaatçının Karar Sürecindeki Yeri ve Mesleki Sorumluluk

Sosyal hizmette alınan kararlar müracaatçının hizmetlere erişimini, alacağı desteği ve yaşam koşullarını doğrudan etkileyebilir. Bu nedenle yapay zekâ kullanılarak yapılan bir değerlendirmede müracaatçının kendisi hakkında verilen kararın nedenini anlayabilmesi önemlidir. Reamer (2023), sosyal hizmette yapay zekâ kullanımında mahremiyet, bilgilendirilmiş onam, mesleki yeterlilik, ayrımcılık riski ve sorumluluk gibi etik konuların

dikkate alınması gerektiğini vurgulamaktadır.

Sosyal hizmet uzmanının da sistemin neden belirli bir öneride bulunduğunu mümkün olduğunca anlayabilmesi gerekir. Uzman kararın dayanağını bilmiyorsa bunu müracaatçıya açıklaması ve yeni bilgiler ortaya çıktığında değerlendirmeyi gözden geçirmesi güçleşebilir. Schweiger (2026), özellikle kişilerin yaşamını önemli ölçüde etkileyen kararlarda yapay zekâ tarafından sunulan önerilerin anlaşılabilir olmasının önemli olduğunu belirtmektedir.

Yapay zekâ desteğiyle verilen bir kararda sorumluluk yalnızca sosyal hizmet uzmanına bırakılamaz. Sistemi kullanan kurumun da kullanılan aracın güvenilirliğini izlemesi, hatalı veya ayrımcı sonuçları değerlendirmesi ve sosyal hizmet uzmanına sistemin önerisini sorgulayabileceği bir mesleki alan tanıması gerekir. Ahn vd. (2026), sosyal hizmette yapay zekâ kullanımında kurumun sorumluluğu, sosyal hizmet uzmanının mesleki sorumluluğu ve müracaatçının haklarının birlikte ele alınması gerektiğini savunmaktadır.

Müracaatçı da kendisi hakkında kullanılan bilgilerin doğru olup olmadığını ifade edebilmeli, kararın nedenini öğrenebilmeli ve kendi görüşünü karar sürecine taşıyabilmelidir. Bu yaklaşım, sosyal hizmetin müracaatçı katılımı, kendi kaderini tayin, insan onuru ve sosyal adalet ilkelerinin yapay zekâ kullanılan uygulamalarda da korunmasına katkı sağlayabilir (Boetto, 2026; Hwang, 2026).

5. Sosyal Hizmet Uygulaması ve Eğitimi Açısından Öneriler

Mevcut çalışmalar, yapay zekânın sosyal hizmette bazı işleri kolaylaştırabileceğini ancak henüz sosyal hizmet uzmanının mesleki değerlendirmesinin yerini alabilecek bir araç olarak görülmemesi gerektiğini göstermektedir. Li vd. (2026), yapay zekânın vaka yönetimi, risklerin fark edilmesi ve hizmetlerin izlenmesinde yararlı olabileceğini belirtmektedir. Zhao vd. (2026) ise bu alandaki araştırmaların henüz sınırlı olduğunu ve elde edilen sonuçların kesin olmadığını göstermektedir. Bu nedenle sosyal hizmet kurumlarının yapay zekâyı yalnızca zaman kazandıran bir teknoloji olarak değil, müracaatçı ve mesleki uygulama üzerindeki etkileriyle birlikte değerlendirmesi gerekir.

Sosyal hizmet uzmanlarının yapay zekâ konusunda temel bilgiye sahip olması da önemlidir. Burada amaç yalnızca bir yapay zekâ aracının nasıl kullanılacağını öğrenmek değildir. Sosyal hizmet uzmanının sistemin hangi bilgilere dayandığını, hangi durumlarda yetersiz kalabileceğini ve müracaatçı açısından ne tür sorunlara yol açabileceğini sorgulayabilmesi gerekir. Ahn, Choi, Fowler ve Song (2025), bu bilgi ve becerileri yapay zekâ okuryazarlığı kapsamında ele almaktadır. James vd. (2024) da sosyal hizmet eğitiminde teknik becerilerin yanında yapay zekâ destekli kararların mesleki ve toplumsal sonuçlarını değerlendirme becerisinin geliştirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Sosyal hizmet eğitiminde öğrencilerin yapay zekâ tarafından verilen bir öneriyi olduğu gibi kabul etmek yerine, bu öneriyi müracaatçının yaşam koşulları ve sosyal hizmetin mesleki değerleri açısından değerlendirmeyi öğrenmeleri önemlidir. Hangi bilgilerin sistemde yer almadığını fark etmek, müracaatçının kendi anlatısına yer vermek ve gerektiğinde sistemin önerisinden farklı bir mesleki değerlendirme yapabilmek bu becerinin önemli parçalarıdır. Gair (2026), bu yeterliliklerin meslek yaşamı boyunca eğitim ve süpervizyonla desteklenmesi gerektiğini belirtmektedir.

Ayrıca sosyal hizmet uzmanlarının yalnızca yapay zekâ sistemlerini kullanan kişiler olarak değil, bu sistemlerin geliştirilmesi ve değerlendirilmesi süreçlerine katkı sunan meslek elemanları olarak da yer alması önemlidir. Sosyal hizmet uzmanlarının ve mümkün olduğunda hizmet kullanıcılarının görüşlerinin alınması, geliştirilen araçların müracaatçı gereksinimlerine ve sosyal hizmet değerlerine daha uygun olmasına katkı sağlayabilir (Boetto, 2026; Garkisch & Goldkind, 2025).

6. Sonuç

Yapay zekâ sosyal hizmette vaka yönetimini ve mesleki değerlendirmeyi destekleyebilecek yeni olanaklar sunmaktadır. Bununla birlikte mevcut araştırmalar, sosyal hizmette yapay zekâ kullanımının henüz gelişmekte olduğunu ve yapay zekânın tek başına daha iyi mesleki kararlar verdiğini söylemek için yeterli kanıt bulunmadığını göstermektedir (Gardiner vd., 2026; Zhao vd., 2026). Yapay zekâ özellikle çok sayıda bilginin incelenmesi, bazı risklerin fark edilmesi ve hizmet sürecinin izlenmesi gibi alanlarda sosyal hizmet uzmanına yardımcı olabilir (Li vd., 2026).

Sosyal hizmet açısından önemli olan, yapay zekânın müracaatçının yaşam koşullarını ve sosyal hizmet uzmanının mesleki değerlendirmesini ikinci plana itmemesidir. Sosyal hizmet uzmanı yapay zekânın sunduğu bilgiyi sorgulayabilmeli, müracaatçıdan elde ettiği bilgilerle birlikte değerlendirebilmeli ve gerektiğinde farklı bir karar verebilmelidir. Müracaatçı da kendisi hakkında verilen kararın gerekçesini anlayabilmeli, kendi görüşünü ifade edebilmeli ve karar sürecine katılabilmelidir.

Sonuç olarak yapay zekâ, sosyal hizmet uzmanının yerine geçecek bir karar verici olarak değil, mesleki değerlendirmeyi destekleyen bir araç olarak ele alınmalıdır. Yapay zekâ kullanımında insan onuru, sosyal adalet, bireyselleştirme, kendi kaderini tayin, müracaatçı katılımı ve mesleki sorumluluk sosyal hizmet uygulamasının temel ölçütleri olmaya devam etmelidir.

Kaynakça

Ahn, E., Choi, M., Fowler, P., & Song, I. H. (2025). Artificial intelligence (AI) literacy for social work: Implications for core competencies. Journal of the Society for Social Work and Research, 16(1), 9-26. https://doi.org/10.1086/735187

Ahn, E., Choi, M., McNellan, C., & Goldkind, L. (2026). AI governance in social work: A triple mandate-informed accountability model [Preprint]. SSRN. https://doi.org/10.2139/ssrn.6469798

Boetto, H. (2026). Artificial intelligence in social work: An EPIC model for practice. Australian Social Work, 79(3), 292-305. https://doi.org/10.1080/0312407X.2025.2488345

Christensen, L. R., & Petersen, A. C. M. (2026). Discretionary freedom in social work? Co-design of AI-enabled case management system in trouble. Computer Supported Cooperative Work (CSCW), 35, Article 3. https://doi.org/10.1007/s10606-026-09539-3

Gair, S. (2026). Upholding professional judgement in social work amid the rise of artificial intelligence. Australian Social Work, 79(3), 287-291. https://doi.org/10.1080/0312407X.2026.2684237

Gardiner, B., O'Donoghue, K., Yeung, P., & Jewel, Z. I. (2026). Social work practice and artificial intelligence: A scoping review. Aotearoa New Zealand Social Work, 38(1), 9-21. https://doi.org/10.11157/anzswj-vol38iss1id1267

Garkisch, M., & Goldkind, L. (2025). Considering a unified model of artificial intelligence enhanced social work: A systematic review. Journal of Human Rights and Social Work, 10, 23-42. https://doi.org/10.1007/s41134-024-00326-y

Hwang, K. (2026). An ethical framework for assessing artificial intelligence as augmentation or automation in social work. Discover Social Science and Health. https://doi.org/10.1007/s44155-026-00463-x

James, P., Lal, J., Liao, A., Magee, L., & Soldatic, K. (2024). Algorithmic decision-making in social work practice and pedagogy: Confronting the competency/critique dilemma. Social Work Education, 43(6), 1552-1569. https://doi.org/10.1080/02615479.2023.2195425

Li, L., Wang, M., & Jian, M. (2026). Artificial intelligence-assisted case management in social work services: A systematic review. Research on Social Work Practice, 36(3), 268-278.

https://doi.org/10.1177/10497315251329531
Meilvang, M. L., & Dahler, A. M. (2024). Decision support and algorithmic support: The construction of algorithms and professional discretion in social work. European Journal of Social Work, 27(1), 30-42. https://doi.org/10.1080/13691457.2022.2063806
Reamer, F. G. (2023). Artificial intelligence in social work: Emerging ethical issues. International Journal of Social Work Values and Ethics, 20(2), 52-71. https://doi.org/10.55521/10-020-205
Schweiger, G. (2026). The ethics of explainable AI in child welfare. International Journal of Social Welfare, 35(3), e70087. https://doi.org/10.1111/ijsw.70087
Zhao, L., Feng, Y., Ruan, Y., Hu, D., Chen, L., & Chen, A. (2026). Artificial intelligence in social work practice for children and youth: A scoping review. International Journal of Social Welfare, 35(4), e70094. https://doi.org/10.1111/ijsw.70094

DÂRÜ'T-TAKRÎB'DEN MECMAÜ'T-TAKRÎB'E TAKRÎBÜ'L-MEZÂHİB HAREKETİ: KURUMSALLAŞMA SÜRECİ VE GÜNÜMÜZDEKİ İŞLEVSELLİĞİ

Ayhan IŞIK
Doç. Dr., Karabük Üniversitesi, İlahiyat Fakültesi, İslam Mezhepleri Tarihi, Karabük Türkiye,
ORCID: 0000-0002-7017-2583
Nursena SUBAŞI
Yüksek Lisans Öğrencisi, Karabük Üniversitesi, İlahiyat Fakültesi, İslam Mezhepleri Tarihi Ana Bilim Dalı Karabük/Türkiye
https://orcid.org/0009-0008-0051-3259

ÖZET
İslâm dünyasında mezhepler arası yakınlaşmayı hedefleyen Takrîbü'l-Mezâhib hareketi, mezhepsel gerilimleri azaltmayı ve farklı mezheplere mensup Müslümanlar arasında karşılıklı anlayış temelinde birlikte yaşama kültürünü geliştirmeyi amaçlayan önemli kurumsal girişimlerden biridir. Mezheplerin farklılıklarını ortadan kaldırmayı değil, karşılıklı tekfir anlayışını terk ederek ortak bir dinî zemin oluşturmayı hedefleyen bu hareket, XX. yüzyılda Dârü'l-İnsâf ve Dârü't-Takrîb ile kurumsal bir hüviyet kazanmış, günümüzde ise ağırlıklı olarak Mecmaü't-Takrîb ve Meberretü'l-Âl ve'l-Ashâb gibi kurumlar aracılığıyla varlığını sürdürmektedir. Literatürde hareketin tarihsel gelişimini ele alan çalışmalar bulunmakla birlikte, günümüzde faaliyet gösteren bu kurumların kurumsal yapıları, faaliyetleri ve mezhepler arası yakınlaşma hedeflerine katkıları üzerine yapılan araştırmalar sınırlıdır. Bu çalışma, söz konusu boşluğu doldurmayı amaçlamakta, Takrîbü'l-Mezâhib hareketinin kurumsal yapısını, faaliyetlerini ve işlevselliğini Dârü'l-İnsâf, Dârü't-Takrîb, Mecmaü't-Takrîb ve Meberretü'l-Âl ve'l-Ashâb örnekleri üzerinden karşılaştırmalı olarak değerlendirmektedir. Araştırmada nitel araştırma yöntemi benimsenmiş, doküman incelemesi tekniği çerçevesinde akademik literatür, ilgili kurumların yayınları, kurumsal raporlar ve güncel çalışmalar betimsel analiz yöntemiyle incelenmiştir. Araştırma sonucunda Takrîbü'l-Mezâhib hareketinin XX. yüzyılda önemli ölçüde kurumsallaştığı, ancak bu kurumsallaşmanın mezhepler arası kalıcı ve kapsayıcı bir yakınlaşma üretmek için tek başına yeterli olmadığı tespit edilmiştir. Kurumların devlet destekli ve siyasî yapılarla yakın ilişkisi ile taraflar arasındaki tarihsel güven sorununun devam etmesi, hareketin toplumsal düzeyde beklenen etkiyi oluşturmasını sınırlandırmıştır. Sonuç olarak Takrîbü'l-Mezâhib hareketi kurumsal varlığını sürdürmekle birlikte, mezhepler arası güvenin tesis edilmesi ve kalıcı yakınlaşma hedefleri bakımından beklenen düzeyde kapsayıcı ve etkili bir işlev ortaya koyamamıştır.
Anahtar Kelimeler: İslam Mezhepleri Tarihi, Takrîbü'l-Mezâhib, Şiî-Sünnî İlişkileri, Dârü't-Takrîb, Mecmaü't-Takrîb.

FROM DĀR AL-TAQRĪB TO MAJMAʿ AL-TAQRĪB: THE INSTITUTIONALIZATION PROCESS AND CONTEMPORARY FUNCTIONALITY OF THE TAQRĪB AL-MADHĀHIB MOVEMENT

ABSTRACT
The Taqrīb al-Madhāhib movement, which seeks to promote rapprochement among Islamic schools of thought, represents one of the most significant institutional initiatives aimed at reducing sectarian tensions and fostering a culture of coexistence based on mutual understanding among Muslims belonging to different madhhabs. Rather than seeking to eliminate doctrinal differences, the movement aspires to establish a shared religious ground by encouraging the abandonment of mutual practices of takfīr (excommunication). Having

acquired an institutional character through Dār al-Inṣāf and Dār al-Taqrīb during the twentieth century, the movement is today represented primarily by institutions such as Majmaʿ al-Taqrīb and Mabarrat al-Āl wa al-Aṣḥāb. Although previous scholarship has examined the historical development of the Taqrīb al-Madhāhib movement, relatively little attention has been paid to the institutional structures, activities, and contemporary effectiveness of these organizations in advancing the goal of inter-sectarian rapprochement. Addressing this gap, the present study offers a comparative analysis of the institutional structure, activities, and functionality of the movement through the cases of Dār al-Inṣāf, Dār al-Taqrīb, Majmaʿ al-Taqrīb, and Mabarrat al-Āl wa al-Aṣḥāb. The study employs a qualitative research design based on document analysis. Academic literature, institutional publications, institutional reports, and recent studies were examined using descriptive analysis. The findings indicate that, although the Taqrīb al-Madhāhib movement achieved a substantial degree of institutionalization during the twentieth century, institutionalization alone has not been sufficient to generate lasting and inclusive inter-sectarian rapprochement. The close ties of these institutions to state-supported and political structures, together with the persistence of historical mistrust between the parties, have limited the movement's ability to generate the expected impact at the societal level. Consequently, while the Taqrīb al-Madhāhib movement continues to maintain its institutional presence, it has not been able to demonstrate the expected level of inclusiveness and effectiveness in establishing inter-sectarian trust and achieving lasting rapprochement.
Keywords: History of Islamic Sects, Taqrīb al-Madhāhib, Shia–Sunni Relations, Dār al-Taqrīb, Majmaʿ al-Taqrīb.

Giriş

İslâm dünyasında mezhepler arası ilişkiler, tarih boyunca hem ilmî çeşitliliğin hem de siyasî ve itikâdî gerilimlerin şekillendirdiği temel tartışma alanlarından biri olmuştur. Özellikle Ehl-i Sünnet ile Şia arasındaki ihtilaflar, yalnızca teolojik farklılıklar olarak kalmamış, aynı zamanda Müslüman toplumların birlik, toplumsal bütünleşme ve siyasal istikrarını etkileyen önemli bir unsur hâline gelmiştir. Bu çerçevede ortaya çıkan Takrîbü'l-Mezâhib hareketi, farklı mezheplere mensup Müslümanlar arasında ortak İslâmî değerler temelinde karşılıklı anlayışı, diyaloğu ve birlikte yaşama kültürünü geliştirmeyi amaçlayan bir yakınlaşma girişimidir (Üzüm, 2010, s. 467). Kavramsal kökenleri daha eski dönemlere uzansa da hareket, kurumsal kimliğini XX. yüzyılın ortalarında Mısır'da kazanmış, daha sonraki süreçte farklı kurumsal yapılar aracılığıyla varlığını sürdürmüştür (Üzüm, 2010, s. 467).

Takrîbü'l-Mezâhib hareketi üzerine yapılan çalışmaların büyük ölçüde hareketin kavramsal çerçevesi, tarihsel gelişimi, öncü şahsiyetleri ve kurumsallaşma süreci üzerinde yoğunlaştığı görülmektedir (Sözgen, 2024; Kılınç, 2019; Aksoy, 2017; Tarik, 2018). Konuya ilişkin literatürde yüksek lisans ve doktora tezlerinin önemli bir yer tuttuğu, araştırmaların ise çoğunlukla belirli bir tarihsel dönem, yayın organı veya coğrafya ile sınırlandırıldığı anlaşılmaktadır. Nadir Şah dönemi, Risâletü'l-İslâm dergisi ve Dârü't-Takrîb merkezli çalışmalar bu yaklaşımın başlıca örneklerini oluşturmaktadır. Cemil Hakyemez ve Ramazan Tarik'in çalışmaları da takrîbü'l-mezâhib düşüncesinin tarihsel gelişimini ve kurumsallaşma sürecini genel hatlarıyla ortaya koymakla birlikte ağırlıklı olarak Dârü't-Takrîb ve onun şekillendiği tarihsel dönem üzerinde yoğunlaşmaktadır (Tarik, 2018).

Literatürün tespiti ve değerlendirilmesi bakımından 2013 yılında Çorum'da gerçekleştirilen Ortadoğu'nun Geleceği Açısından Şiî-Sünnî İlişkileri başlıklı sempozyum ile Tarik'in "Türkiye'de Takrîbü'l-Mezâhib Alanında Yapılan Çalışmaların Değerlendirilmesi" adlı makalesi de başvuru kaynakları arasında yer almaktadır (Tarik, 2018, Okumuş-Hakyemez, 2014). Söz konusu çalışmalar, Türkiye'de takrîbü'l-mezâhib alanında oluşan literatürün genel

görünümünü ortaya koymakla birlikte, günümüzde faaliyet gösteren takrîb kurumlarının kurumsal yapılarını, faaliyetlerini ve işlevlerini karşılaştırmalı olarak incelememektedir.
Buna karşılık Dârü't-Takrîb sonrasında takrîb düşüncesinin hangi kurumlar aracılığıyla sürdürüldüğü ve bu tarihsel mirasın günümüzde nasıl temsil edildiği yeterince incelenmemiştir. Özellikle Mecmaü't-Takrîb ile Meberretü'l-Âl ve'l-Ashâb'ın kurumsal yapıları, faaliyet alanları ve Şiî-Sünnî yakınlaşmasına yönelik işlevleri karşılaştırmalı olarak ele alınmamıştır. Çalışmamız, takrîb hareketini yalnızca tarihsel bir teşebbüs olarak ele almak yerine, Dârü't-Takrîb'den günümüzde faaliyet gösteren kurumlara uzanan kurumsal süreklilik ve dönüşüm ekseninde inceleyerek literatürdeki bu eksikliğin giderilmesine katkı sağlamaktadır.
Bu çalışma, Takrîbü'l-Mezâhib hareketinin kurumsallaşma sürecini ve günümüzdeki işlevselliğini incelemektedir. Bu kapsamda Dârü'l-İnsâf ve Dârü't-Takrîb ile başlayan kurumsallaşma süreci tarihsel çerçevesi içinde ele alınmakta, günümüzde faaliyet gösteren Mecmaü't-Takrîb ve Meberretü'l-Âl ve'l-Ashâb'ın kurumsal yapıları, faaliyet alanları ve Şiî-Sünnî yakınlaşmasına yönelik işlevleri karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir. Araştırmada nitel araştırma yöntemi benimsenmiş, doküman incelemesi yoluyla elde edilen veriler betimsel analiz yöntemiyle değerlendirilmiştir.

1. Takrîbü'l-Mezâhib Hareketinin Tarihsel ve Kavramsal Temelleri

Takrîbü'l-Mezâhib, sözlükte "yaklaştırmak" anlamındaki takrîb ile "mezhep" kelimesinin çoğulu olan mezâhib kelimelerinden oluşan bir terkiptir. Terim olarak ise farklı itikadî mezheplere mensup Müslümanlar arasında karşılıklı anlayışı geliştirmeyi, ortak dinî ilkeler etrafında yakınlaşmayı sağlamayı ve mezhepler arası çatışmaları azaltmayı amaçlayan düşünce ve faaliyetleri ifade etmektedir (Üzüm, 2010, s. 467). Günümüzde kavram daha çok Ehl-i Sünnet ile Şia arasında diyalog, iş birliği ve birlikte yaşama kültürünü geliştirmeye yönelik girişimler için kullanılmakta, zaman zaman vahdet-i İslâmiyye veya kısaca vahdet kavramlarıyla da ilişkilendirilmektedir (Tarik, 2014, s. 11).
Takrîbü'l-Mezâhib kavramı modern dönemde kullanılmaya başlanmış olsa da mezhepler arasında yakınlaşmayı hedefleyen girişimlerin tarihî kökeni daha eski dönemlere uzanmaktadır (Aksoy, 2017, s. 17). Nâsır b. Abdullah Ali el-Gıfârî, bu sürecin XI. yüzyıla kadar götürülebileceğini belirtmektedir (Aksoy, 2017, s. 17). Bu dönemde Bağdat'ta Yahudilerin oluşturduğu tehdide karşı Sünnîler ile Şiîler arasında geçici bir iş birliği zemini oluşmuştur. 442/1051 yılında Ebû Ca'fer et-Tûsî döneminde Şiîlerin Sünnî camilerinde namaz kılmaları ve Sünnîlerin Şiî imamların kabirlerini ziyaret etmeleri, mezhepler arası yakınlaşmanın erken örneklerinden biri olarak değerlendirilmektedir (Hakyemez, 2018, s. 289). Bununla birlikte bu girişim, ortak bir dış tehdidin ortadan kalkmasıyla süreklilik kazanamamıştır.
Mezhepler arası yakınlaşmayı kurumsal bir zemine taşıma yönündeki ilk girişimlerden biri XIV. yüzyılda Kübreviyye tarikatı çevresinde ortaya çıkmıştır. Tarikat mensupları, özellikle velâyet kavramı üzerinden Ehl-i Sünnet ile Şia arasında ortak bir yorum geliştirmeye çalışmışlardır (Ağçoban, 2020, s. 551). Ancak dönemin siyasî şartları ve mezhep merkezli rekabetin güçlenmesi nedeniyle bu teşebbüs kalıcı bir kurumsal yapıya dönüşememiştir.
Takrîb düşüncesinin modern anlamdaki ilk sistemli uygulaması ise XVIII. yüzyılda Nâdir Şah döneminde görülmektedir. Safevîlerin hâkim olduğu İran coğrafyasında iktidarı ele alan Nâdir Şah, mezhep temelli siyasî gerilimleri azaltmak amacıyla Caferîlik mezhebinin Osmanlı Devleti tarafından beşinci hak mezhep olarak tanınmasını teklif etmiş ve bu doğrultuda diplomatik girişimlerde bulunmuştur (Çelenk, 2013, s. 66). Bu sürecin en önemli aşaması, 1746 yılında gerçekleştirilen Necef Toplantısı olmuştur (Özcan, 2006, s. 277). Ancak Osmanlı Devleti'nin meseleyi daha çok siyasî ve diplomatik bir denge unsuru olarak değerlendirmesi ile Nâdir Şah'ın öldürülmesinin ardından İran'da Safevî din anlayışının yeniden güç kazanması, bu girişimin kurumsal bir harekete dönüşmesini engellemiştir (Çelenk, 2014, s. 67).

XIX. yüzyılda İslâm dünyasının siyasî, askerî ve ekonomik alanlarda yaşadığı gerileme, mezhepler arası ayrılıkların yeniden değerlendirilmesini beraberinde getirmiştir. Bu dönemde Müslüman toplumların ortak tehditlere karşı birlikte hareket etmesi gerektiği düşüncesi güç kazanmış, özellikle Sultan II. Abdülhamid döneminde geliştirilen İttihâd-ı İslâm siyaseti, mezhepler arası yakınlaşmaya yeni bir siyasî zemin hazırlamıştır. Osmanlı Devleti ile İran (Kaçarlar) arasındaki ilişkiler de bu süreçte mezhepsel rekabetten ziyade ortak siyasî çıkarlar çerçevesinde yeniden şekillenmiştir (Çelenk, 2014, s. 67). Özellikle Rusya'nın her iki devlet açısından ortak tehdit hâline gelmesi, diplomatik temasların artmasına ve mezhepsel gerilimleri azaltmaya yönelik yakınlaşma girişimlerine zemin hazırlamıştır (Özcan, 2001, s. 473).

Bu dönemin en dikkat çekici girişimlerinden biri, Sultan II. Abdülhamid ile Cemâleddîn-i Efgânî'nin Şiî-Sünnî yakınlaşmasını kurumsal bir zemine taşımaya yönelik teşebbüsüdür (Özcan, 2001, s. 473). İstanbul'da oluşturulan teşkilat aracılığıyla İslâm dünyasının önde gelen âlim ve yöneticilerine gönderilen mektuplar, mezhepler arası iş birliğini teşvik etmeyi amaçlamıştır. Ancak İran yönetiminin bu girişimlere mesafeli yaklaşımı, Nâsırüddin Şah'ın öldürülmesi sonrasında oluşan siyasî ortam ve Osmanlı-İran ilişkilerinde yaşanan gerilimler nedeniyle bu teşebbüs de süreklilik kazanamamıştır (Özcan, 2001, s. 473). Bununla birlikte İttihâd-ı İslâm düşüncesi, mezhepler arası yakınlaşmanın yalnızca dinî değil aynı zamanda siyasî ve toplumsal bir mesele olarak ele alınması bakımından önemli bir birikim oluşturmuştur. Bütün bu tarihsel girişimler, mezhepler arası yakınlaşma düşüncesinin modern dönemde ortaya çıkan bir fikir olmadığını, farklı dönemlerde değişen siyasî ve toplumsal şartlara bağlı olarak çeşitli biçimlerde gündeme geldiğini göstermektedir. Bununla birlikte söz konusu teşebbüslerin ortak özelliği, kalıcı ve bağımsız kurumsal yapılara dönüşememeleridir. Mezhepler arası yakınlaşma çabalarının sürekli ve sistematik bir yapıya kavuşması ise XX. yüzyılda Dârü'l-İnsâf ve özellikle Dârü't-Takrîb'in kurulmasıyla gerçekleşmiş, Takrîbü'l-Mezâhib düşüncesi bu dönemde kurumsal bir zemine taşınmıştır.

2. Takrîbü'l-Mezâhib Hareketinin Kurumsallaşması: Dârü't-Takrîb'ten Mecmaü't-Takrîb'e

XIX. yüzyıl boyunca mezhepler arası yakınlaşma düşüncesi, büyük ölçüde siyasî girişimler ve bireysel ilmî çabalar çerçevesinde gelişmiş, ancak bu girişimler süreklilik arz eden kurumsal yapılara dönüşememiştir. XX. yüzyılın ortalarından itibaren ise takrîb düşüncesi, mezhepler arası diyaloğu düzenli ve sistematik faaliyetler aracılığıyla yürütmeyi amaçlayan kurumlar vasıtasıyla yeni bir evreye girmiştir. Bu dönüşümün ilk örneklerini Mısır'da kurulan Cemâatü'l-Uhuvveti'l-İslâmiyye, Dârü'l-İnsâf ve özellikle Dârü't-Takrîb oluşturmuştur (Duman, 2022, s. 94). Bunlar arasında Dârü't-Takrîb, kuruluş felsefesi, ilmî faaliyetleri ve mezhepler arası diyaloğu kurumsallaştırma çabalarıyla hareketin en etkili ve en uzun soluklu modeli olarak öne çıkmıştır (Üzüm, 1998, s. 172). Daha sonraki dönemde İran'da kurulan Mecmaü't-Takrîb ile Kuveyt'te faaliyet gösteren Meberretü'l-Âl ve'l-Ashâb ise bu kurumsal mirası farklı siyasî ve fikrî bağlamlarda yeniden yorumlayarak sürdürmüştür. Bu nedenle Takrîbü'l-Mezâhib hareketi, kurumların tarihsel gelişiminin ötesinde, mezhepler arası yakınlaşma düşüncesinin farklı siyasî ve fikrî şartlar altında şekillenen kurumsal modeller aracılığıyla nasıl somutlaştığını ortaya koyan bir süreç olarak değerlendirilmelidir.

2.1. Mısır'da Dârü't-Takrîb: Takrîbü'l-Mezâhib Hareketinin İlk Kurumsal Modeli

Modern dönemde mezhepler arası yakınlaşma düşüncesi, XIX. yüzyılda güç kazanan İttihâd-ı İslâm söyleminden beslenmekle birlikte esas gelişimini Sünnî ve Şiî âlimler arasında yoğunlaşan ilmî etkileşim ve diyalog arayışlarıyla sürdürmüştür. Muhammed Abduh, Reşîd Rızâ ve Mûsâ Cârullah gibi Sünnî ve Muhammed el-Hâlisî, Şerefeddîn el-Âmilî gibi Şiî âlimlerin öncülük ettiği bu fikrî zemin, mezhepler arasındaki ihtilafların ilmî yöntemlerle ele alınabileceği ortak bir anlayışın oluşmasına katkı sağlamıştır (Özen, 200, s. 567). Bu fikrî

hazırlık, 1945 yılında Kahire'de Dârü't-Takrîb'in kurulmasıyla kurumsal bir boyut kazanmış, böylece daha önce büyük ölçüde bireysel girişimler ve siyasî gelişmeler çerçevesinde şekillenen yakınlaşma çabaları, ilk defa bağımsız bir kurum çatısı altında sistemli ve süreklilik arz eden faaliyetlere dönüşmüştür. Bu yönüyle Dârü't-Takrîb, Takrîbü'l-Mezâhib hareketinin kurumsallaşmasında bir dönüm noktası teşkil etmektedir.

Dârü't-Takrîb'in ortaya çıkışı yalnızca mezhepler arasındaki ihtilafları azaltma arayışının değil, aynı zamanda II. Dünya Savaşı sonrasında İslâm dünyasında güçlenen birlik arayışlarının da bir sonucudur. Kurumun kuruluşunda Muhammed Takî el-Kummî belirleyici bir rol üstlenmiş, Ezher çevresinden Mahmûd Şeltût, Abdülmecîd Selîm ve Muhammed Ebû Zehra gibi isimlerin desteğiyle farklı mezheplere mensup âlimleri ortak bir ilmî platformda buluşturan kurumsal bir yapı oluşturulmuştur. Böylece mezhepler arası yakınlaşma düşüncesi, devletler arasındaki siyasî girişimlerin ötesine geçerek ilmî çevreler tarafından sürdürülen bağımsız ve düzenli bir faaliyet alanına dönüşmüştür (Üzüm, 1998, s. 172).

Dârü't-Takrîb'in temel amacı, mezhepler arasındaki farklılıkları ortadan kaldırmak değil, Sünnî ve Şiî gelenekler arasında ortak İslâmî esaslar temelinde kalıcı bir ilmî diyalog zemini oluşturarak ümmet bilincini güçlendirmektir. Bu yaklaşım, ortak inanç ve değerler temelinde karşılıklı anlayış ve iş birliğinin geliştirilmesini esas almaktadır (Üzüm, 1998, s. 173). Kurum, çıkardığı Risâletü'l-İslâm dergisinin ilk sayısında bu hedefini, farklı İslâm mezheplerini ortak bir İslâmî çatı altında buluşturmak, İslâm'ın evrensel ilkelerini farklı dillere ulaştırmak ve Müslümanlar arasındaki ayrılıkların giderilmesine katkı sağlamak şeklinde ortaya koymuştur (Üzüm, 1998, s. 173). Böylece Dârü't-Takrîb, mezhepsel farklılıkları ortadan kaldırmak yerine ortak inanç esaslarını öne çıkararak mezhepler arasında yakınlaşmayı temel ilke olarak benimsemiştir (Üzüm, 1998, s. 173).

Kurumun bu vizyonu, öncelikle yayın faaliyetleri aracılığıyla hayata geçirilmiştir. 1949-1972 yılları arasında aralıksız yayımlanan Risâletü'l-İslâm dergisi, Sünnî, İsnâaşerî ve Zeydî âlimlerin mezhepler arası yakınlaşmayı konu alan çalışmalarına yer vererek hareketin en önemli entelektüel platformu hâline gelmiştir (Üzüm, 1998, s. 176). Bunun yanında, mezhep mensuplarının birbirlerini doğrudan kendi klasik kaynakları üzerinden tanıyabilmelerini sağlamak amacıyla çeşitli eserlerin neşrine önem verilmiştir. Ancak yayımlanan eserlerin büyük ölçüde Şiî literatürüne ait olması, kurumun mezhepler üstü bir temsil iddiasına rağmen yayın politikasında yeterli dengeyi sağlayamadığı yönünde eleştirilere neden olmuştur (Üzüm, 1998, s. 176). Bu durum, Takrîbü'l-Mezâhib hareketinin teorik hedefleri ile kurumsal uygulamaları arasındaki gerilimi göstermesi bakımından dikkat çekicidir.

Dârü't-Takrîb'in en önemli kazanımlarından biri, Ezher Şeyhi Mahmûd Şeltût'un 1959 yılında yayımladığı fetvadır (Üzüm, 1998, s. 177). Şeltût, bu fetvasında Caferîlik mezhebinin diğer fıkıh mezhepleri gibi meşru bir içtihat ekolü olduğunu belirterek Ehl-i sünnet mensuplarının bu mezhebin hükümleriyle amel edebileceğini ifade etmiştir. Bu fetva, Takrîbü'l-Mezâhib düşüncesinin yalnızca teorik bir söylem olmaktan çıkıp fıkhî düzeyde de karşılık bulduğunu göstermesi bakımından önemli bir dönüm noktasıdır. Bununla birlikte mezhep mensupları arasındaki tarihsel güvensizlik, siyasî rekabet ve toplumsal önyargılar nedeniyle bu girişimin İslâm dünyasında kalıcı bir dönüşüm meydana getirdiğini söylemek güçtür (Üzüm, 1998, s. 177). Bu durum, mezhepler arası yakınlaşmanın yalnızca ilmî fetvalarla değil, aynı zamanda toplumsal ve siyasî şartlarla da yakından ilişkili olduğunu göstermektedir. Bu çerçevede Dârü't-Takrîb, mezhepler arası diyaloğun ilmî ve fıkhî zeminde meşruiyet kazanmasına önemli katkı sağlamıştır. Ancak bu diyaloğun toplumsal düzeyde yaygınlaşmasını ve süreklilik kazanmasını sağlayacak mekanizmalar geliştirmekte sınırlı kalmıştır.

Kurumun yaklaşımı, destekleyici değerlendirmelerin yanında yoğun eleştirilere de konu olmuştur (Duman, 2022, s. 93). Muhammed el-Medenî, Dârü't-Takrîb'in amacının Sünnîleri

Şiîliğe veya Şiîleri Sünnîliğe yönlendirmek olmadığını, aksine her iki mezhebin üzerinde uzlaşabileceği ortak esasları güçlendirmek olduğunu vurgulamıştır (Üzüm, 1998, s. 174). Buna karşılık özellikle Muhibbüddin el-Hatîb gibi Selefî çizgideki isimler, Şiîliğin Ehl-i sünnetten farklı bir din anlayışını temsil ettiğini ileri sürerek gerçek anlamda bir mezhep yakınlaşmasının mümkün olmadığını savunmuş (Üzüm, 1998, s. 178), Dârü't-Takrîb'in faaliyetlerini Şiîliğin yayılmasına hizmet eden bir girişim olarak değerlendirmiş ve kurumu eleştirel bir ifadeyle "Dârü't-Tahrîb" olarak nitelendirmiştir (Üzüm, 1998, s. 178). Bu eleştiriler, Takrîbü'l-Mezâhib hareketinin aynı zamanda mezhebî ve siyasî rekabetin de önemli unsurlarından biri olduğunu göstermektedir.

Yaklaşık çeyrek asır boyunca faaliyetlerini sürdüren Dârü't-Takrîb, 1972 yılında çalışmalarını sona erdirmiştir. Bununla birlikte ortaya koyduğu kurumsal model ve fikrî birikim, sonraki dönemde mezhepler arası yakınlaşmayı amaçlayan girişimler için önemli bir referans oluşturmuştur. Bu yaklaşım özellikle İran'da kurulan Mecmaü't-Takrîb ile farklı bir kurumsal yapı içerisinde sürdürülmüştür. Bununla birlikte yayınlarında Şiî literatürünün belirgin bir ağırlık taşıması, mezhepler arası temsil dengesi bakımından eleştirilmiştir. Faaliyetlerinin toplumsal düzeyde sınırlı kalması ve mezhepler arasındaki güven sorununu aşmaya yönelik sürdürülebilir mekanizmaların geliştirilememesi ise kurumun başlıca sınırlılıkları arasında değerlendirilmiştir (Üzüm, 1998, s. 178). Buna rağmen Dârü't-Takrîb, mezhepler arası diyaloğu kurumsal bir zeminde sürdürmeye yönelik önemli bir tecrübe ortaya koymuş ve sonraki takrîb girişimleri açısından dikkate değer bir örnek oluşturmuştur (Onat, 2014, s. 156).

2.2. Günümüzdeki Kurumsal Yapı: İran'da Mecmaü't-Takrîb

1979 İran İslâm Devrimi sonrasında Şiîliğin devlet ideolojisi hâline gelmesi, İran'ın İslâm dünyasıyla ilişkilerinde yeni bir siyasal ve dinî strateji geliştirmesini zorunlu kılmıştır. Devrim sonrasında uluslararası alanda yaşanan yalnızlık ve Batı merkezli baskılar, İran'ın Müslüman toplumlarla ilişkilerini güçlendirmeye yönelik yeni politikalar geliştirmesine zemin hazırlamış, bu süreçte mezhepler arası yakınlaşma düşüncesi, İran'ın İslâm dünyasıyla ilişkilerinde benimsediği dinî diplomasi araçlarından biri hâline gelmiştir (Kaplan, 2014, s. 166). Bu çerçevede Ayetullah Ali Hâmeney'in talimatıyla 1990 yılında kurulan el-Mecmau'l-Âlemî li't-Takrîb Beyne'l-Mezâhibi'l-İslâmiyye, Dârü't-Takrîb'in bıraktığı kurumsal mirası farklı bir siyasî bağlam içerisinde devam ettiren en kapsamlı girişim olmuştur (Kaplan, 2014, s. 166).

Mecmaü't-Takrîb'in kuruluş amacı, Müslümanlar arasında vahdet ve kardeşlik anlayışını güçlendirmek, mezhep mensupları arasında sürdürülebilir bir ilmî diyalog zemini oluşturmak ve ortak İslâmî değerler etrafında iş birliğini yaygınlaştırmaktır. Kurum, bu hedef doğrultusunda yalnızca ilmî araştırmalar yürüten bir kurum olarak değil, aynı zamanda uluslararası düzeyde mezhepler arası diyaloğu koordine eden kurumsal bir platform olarak tasarlanmıştır (İslam Mezhepleri Arasında Yakınlaşma Dünya Forumu, 2026). Bu kapsamda farklı mezheplere mensup âlimleri aynı çatı altında buluşturan Genel Kurul ve Yüksek Konsey gibi organlar oluşturulmuş, akademik yayınlar, uluslararası toplantılar ve eğitim faaliyetleri aracılığıyla takrîb düşüncesinin İslâm dünyasında daha geniş bir karşılık bulması hedeflenmiştir (İslam Mezhepleri Arasında Yakınlaşma Dünya Forumu, 2026).

Kurumun teşkilat yapısı ve faaliyet alanları hazırlanan tüzükte ayrıntılı biçimde düzenlenmiştir (Kaplan, 2013, s. 262). Tüzüğe göre Mecmaü't-Takrîb, ilmî, kültürel ve uluslararası nitelikte bağımsız bir tüzel kişilik olarak tanımlanmakla birlikte, kurumun en üst düzey gözetim ve denetimi İran Dinî Rehberi'nin uhdesine bırakılmıştır (Kaplan, 2013, s. 262). Genel Kurul, Yüksek Konsey ve Genel Sekreterlikten oluşan yönetim modeli kurumsal sürekliliği sağlamayı amaçlarken, karar alma süreçlerinin de merkezî bir otorite etrafında şekillendiğini göstermektedir (Kaplan, 2013, s. 263). Bu yönüyle Mecmaü't-Takrîb, Dârü't-Takrîb'den farklı olarak devlet desteğiyle kurumsallaşan ve dinî liderlik makamıyla organik ilişki içerisinde

faaliyet gösteren bir takrîb modeli ortaya koymuştur.

Mecmaü't-Takrîb'in benimsediği takrîb anlayışı, Kur'ân ve sünnetin bütün mezhepler için ortak referans kaynakları olduğu kabûlüne dayanmaktadır. Kurum, mezhepler arasındaki ihtilafları içtihadın tabiî bir sonucu olarak değerlendirmekte, tekfir anlayışının reddedilmesini, karşılıklı saygının güçlendirilmesini ve İslâm kardeşliğinin mezhepler üstü temel bir ilke olarak benimsenmesini esas almaktadır (Kaplan, 2013, s. 262). Bunun yanında kurum, Müslümanların ortak dış tehditler karşısında birlikte hareket etmelerini, mezhep taassubunun azaltılmasını ve takrîb düşüncesinin yalnızca ilmî çevrelerde değil, toplumun farklı kesimlerinde de yaygınlaştırılmasını hedeflemektedir (Kaplan, 2013, s. 262). Bu yaklaşım, kurumun mezhepler arası yakınlaşmayı dinî, siyasî, kültürel ve toplumsal boyutları bulunan kapsamlı bir kurumsal birlik stratejisi olarak değerlendirdiğini göstermektedir.

Mecmaü't-Takrîb, bu hedeflerini uluslararası kongreler, sempozyumlar, akademik yayınlar ve eğitim kurumları aracılığıyla hayata geçirmeye çalışmıştır. Kuruluşundan itibaren Mekke, Ankara (Kaplan, 2013, s. 267), Halep, Beyrut, Moskova, Darüsselam ve Londra (Kaplan, 2013, s. 268) gibi farklı merkezlerde düzenlediği ilmî toplantılarla çeşitli mezheplere mensup âlimleri ortak platformlarda bir araya getirmiş, Cemâleddîn Afgânî, Mahmûd Şeltût, Ayetullah Burûcerdî ve Seyyid Muhsin el-Emîn gibi takrîb düşüncesine katkı sağlayan isimler adına uluslararası anma programları gerçekleştirmiştir (Aksoy, 2017s. 76). Her yıl Vahdet Haftası kapsamında düzenlenen Uluslararası İslâm Vahdeti Kongreleri (Kaplan, 2013, s. 268) ise kurumun en önemli ilmî organizasyonu hâline gelmiş, bu toplantılarda sunulan çok sayıdaki bildiri yayımlanarak takrîb literatürünün gelişimine önemli katkılar sağlanmıştır (Kaplan, 2013, s. 268). Bunun yanında 1992 yılında kurulan Câmiatu'l-Mezâhibi'l-İslâmiyye, farklı İslâm mezheplerini ortak bir akademik zeminde ele alan bir eğitim anlayışı çerçevesinde fıkıh, kelâm, kıraat, hadis ve dinler tarihi gibi alanlarda öğretim faaliyetleri yürütmektedir (Aksoy, 2017, s. 77). Böylece Mecmaü't-Takrîb, Dârü't-Takrîb döneminde ağırlıklı olarak yayın faaliyetleri üzerinden yürütülen takrîb anlayışını uluslararası organizasyonlar ve yükseköğretim kurumları aracılığıyla daha kurumsal ve sürdürülebilir bir yapıya dönüştürmeye çalışmıştır. Bu yönüyle kurum, takrîb düşüncesini uluslararası düzeyde kurumsal bir iş birliği zeminine dönüştürmeyi hedeflemiştir.

Bununla birlikte Mecmaü't-Takrîb'in faaliyetleri çeşitli eleştirilere de konu olmuştur (Kaplan, 2013, s. 174). Özellikle kurumun doğrudan İran Dinî Rehberi'nin gözetiminde faaliyet göstermesi ve yönetim kadrolarında Şiî ulemanın belirgin ağırlığının bulunması, mezhepler üstü temsil iddiasının sorgulanmasına yol açmıştır. Doğan Kaplan da mezhepler arası yakınlaşmanın önündeki temel engelin teolojik farklılıklardan ziyade tarihsel önyargılar ve karşılıklı güvensizlik olduğunu belirtmekte, bu nedenle kurumun uluslararası ve daha kapsayıcı bir yapıya kavuşturulmasını, farklı mezheplerden âlimlerin yönetim mekanizmalarında dengeli biçimde temsil edilmesini ve karşılıklı ilmî diyaloğun güçlendirilmesini önermektedir (Kaplan, 2013, s. 269). Bu eleştiriler, Mecmaü't-Takrîb'in kurumsal kapasitesinin yüksek olmasına rağmen tarafsızlık algısını güçlendirecek yapısal dönüşümlere ihtiyaç duyduğunu göstermektedir.

Sonuç olarak Mecmaü't-Takrîb, Dârü't-Takrîb'in başlattığı kurumsallaşma sürecini uluslararası ölçekte genişleterek Takrîbü'l-Mezâhib hareketinin en kapsamlı kurumsal modeli hâline gelmiştir. Kongreleri, yayın faaliyetleri, eğitim kurumları ve uluslararası organizasyon ağı sayesinde takrîb düşüncesinin küresel ölçekte yaygınlaşmasına önemli katkılar sağlamıştır. Bununla birlikte devlet desteğiyle şekillenen kurumsal yapısı ve mezhepler üstü temsil konusundaki tartışmalar, kurumun bütün İslâm dünyasını kuşatan bir takrîb modeli olarak kabul edilmesini sınırlandırmaktadır (Kaplan, 2013, s. 174). Bu yönüyle Mecmaü't-Takrîb, mezhepler üstü temsil ve kapsayıcılık bakımından çeşitli tartışmalara konu olmakla birlikte,

sahip olduğu kurumsal imkânlar ve uluslararası faaliyetleriyle Takrîbü'l-Mezâhib düşüncesinin günümüzdeki en kapsamlı kurumsal örneklerinden birini oluşturmaktadır.

2.3. Günümüzdeki Kurumsal Yapı: Kuveyt'te Meberretü'l-Âl ve'l-Ashâb

Takrîbü'l-Mezâhib hareketinin günümüzdeki önemli kurumsal örneklerinden biri de Kuveyt'te faaliyet gösteren Meberretü'l-Âl ve'l-Ashâb'tır. Mısır'daki Dârü't-Takrîb ve İran'daki Mecmaü't-Takrîb'den farklı olarak bu kurum, mezhepler arası yakınlaşmayı doğrudan Ehl-i beyt ve sahâbe ortak mirası üzerinden geliştirmeyi amaçlayan bir yaklaşım benimsemiştir. Kuveyt'teki yakınlaşma süreci, 2005 yılında Sosyal Politikalar ve Çalışma Bakanlığı'nın kararıyla Meberretü'l-Âl ve'l-Ashâb'ın kurulmasıyla kurumsal bir nitelik kazanmıştır (Duman, 2022, s. 95). Bu yönüyle kurum, devlet desteğiyle faaliyet göstermesi bakımından Mecmaü't-Takrîb'e benzemekle birlikte, mezhepler arası diyaloğu Ehl-i beyt ve sahâbe ekseninde temellendirmesi bakımından kendine özgü bir model ortaya koymuştur.

Meberretü'l-Âl ve'l-Ashâb'ın temel amacı, Müslüman toplumlarda Ehl-i beyt ve sahâbe sevgisini ortak bir dinî değer olarak güçlendirmek, bu şahsiyetlere ilişkin tarihsel ve mezhebî tartışmaları ilmî yöntemlerle ele almak ve karşılıklı önyargıları azaltarak mezhepler arası güven ortamının oluşmasına katkı sağlamaktır. Bu doğrultuda kurum, Ehl-i beyt ve sahâbe hakkında oluşan yanlış algıları ilmî veriler ışığında değerlendirmeyi, ortak tarihî mirası öne çıkararak toplumsal kutuplaşmayı azaltmayı ve farklı mezhep mensupları arasında yapıcı bir iletişim zemini oluşturmayı hedeflemektedir (Duman, 2022, s. 95). Böylece takrîb düşüncesi, yalnızca mezhepler arasındaki doktrinel farklılıkların tartışılmasıyla sınırlı görülmeyip, ortak dinî şahsiyetler etrafında geliştirilen toplumsal uzlaşı perspektifiyle yeniden yorumlanmaktadır.

Meberretü'l-Âl ve'l-Ashâb, belirlediği bu hedefleri sempozyumlar, uluslararası konferanslar, ilmî toplantılar ve süreli yayınlar aracılığıyla hayata geçirmektedir. Düzenlediği akademik etkinliklerle farklı mezheplerden araştırmacıları ve din âlimlerini ortak platformlarda bir araya getirirken, yayımladığı üç aylık dergiler vasıtasıyla takrîb literatürünün gelişimine katkı sağlamaktadır (Duman, 2022, s. 96). Bu faaliyetler, kurumun mezhepler arası yakınlaşmayı yalnızca akademik tartışmalar düzeyinde bırakmayıp toplumun farklı kesimlerine ulaştırma çabasının bir göstergesi olarak değerlendirilebilir.

Mevcut faaliyetleri incelendiğinde, kurumun çalışmalarının ağırlıklı olarak Ehl-i beyt ve sahâbe ekseninde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu yaklaşım, kuruma belirgin bir tematik odak kazandırmakla birlikte, faaliyet alanının diğer takrîb kurumlarına kıyasla daha sınırlı kalmasına yol açmaktadır. Buna rağmen ortak tarihî ve dinî şahsiyetleri uzlaşı zemini olarak öne çıkarması, mezhepler arası güvenin geliştirilmesine özgün bir katkı sağlamaktadır.

Sonuç olarak Meberretü'l-Âl ve'l-Ashâb, Takrîbü'l-Mezâhib hareketi içerisinde Ehl-i beyt ve sahâbe ortak paydasını esas alan farklı bir kurumsal yaklaşımı temsil etmektedir. Devlet desteğiyle yürüttüğü ilmî faaliyetler, yayın çalışmaları ve uluslararası organizasyonlarla mezhepler arası yakınlaşmaya katkı sağlamaktadır. Özellikle Ehl-i beyt ve sahâbe etrafındaki ortak değerleri öne çıkarması, kuruma diğer takrîb kurumlarından farklı bir yaklaşım kazandırmaktadır. Bu yönüyle Meberretü'l-Âl ve'l-Ashâb, Takrîbü'l-Mezâhib hareketi içerisinde belirli ortak değerler etrafında şekillenen tematik bir yakınlaşma modeli olarak öne çıkmaktadır.

Sonuç

Bu çalışma, Takrîbü'l-Mezâhib hareketinin kurumsallaşma sürecini ve günümüzdeki işlevselliğini incelemeyi amaçlamıştır. Elde edilen bulgular, İslâm dünyasında Sünnî ve Şiî unsurlar arasında yakınlaşma düşüncesinin ilk dönemlerden itibaren çeşitli girişimlere konu olmakla birlikte, bu düşüncenin kurumsal bir yapıya ancak XX. yüzyılda kavuşabildiğini göstermektedir. Mısır'da Dârü'l-İnsâf ve Dârü't-Takrîb ile başlayan kurumsallaşma süreci,

günümüzde İran'daki Mecmaü't-Takrîb ve Kuveyt'teki Meberretü'l-Âl ve'l-Ashâb gibi kurumlar aracılığıyla varlığını sürdürmektedir. Böylece takrîb düşüncesi, bireysel ve ilmî girişimlerden kurumsal yapılara evrilmiş, ancak bu dönüşüm, hareketin temel hedeflerine aynı ölçüde yansımamıştır.

Çalışmada incelenen kurumlar karşılaştırmalı olarak değerlendirildiğinde, Dârü't-Takrîb'in takrîb düşüncesinin ilk sistemli kurumsal modeli olduğu, Mecmaü't-Takrîb'in devlet desteğiyle uluslararası ölçekte faaliyet gösteren en kapsamlı kurumsal yapıyı temsil ettiği, Meberretü'l-Âl ve'l-Ashâb'ın ise Ehl-i beyt ve sahâbe ortak paydasını esas alan daha tematik bir yaklaşım benimsediği görülmektedir. Bu farklılıklar, takrîb hareketinin zaman içerisinde yalnızca kurumsal açıdan değil yöntem, öncelik ve faaliyet alanları bakımından da çeşitlendiğini ortaya koymaktadır.

Bununla birlikte araştırmanın ortaya koyduğu en önemli sonuç, takrîb düşüncesinin kurumsallaşma sürecinin başarılı olmasına rağmen bu kurumsallaşmanın hareketin temel amacı olan kalıcı ve kapsayıcı mezhepler arası yakınlaşmayı sağlamada beklenen ölçüde etkili olamadığıdır. Nitekim Mısır merkezli Dârü'l-İnsâf ve Dârü't-Takrîb girişimleri, mezhepler arasında kurumsal bir diyalog zemini oluşturmayı başarmış olmakla birlikte uzun süre varlığını sürdürememiştir. Bu durum, mezhepler arasında karşılıklı güven ortamının yeterince tesis edilememesi ve takrîb faaliyetlerinin bazı çevrelerce mezhebî nüfuz oluşturma aracı olarak algılanmasıyla yakından ilişkilidir. Muhibbüddin el-Hatîb'in Dârü't-Takrîb'i "Dârü't-Tahrîb" olarak nitelendirmesi, bu güvensizliğin dönemin şartlarında ulaştığı boyutu göstermesi bakımından dikkat çekicidir.

Günümüzde faaliyetlerini sürdüren Mecmaü't-Takrîb ve Meberretü'l-Âl ve'l-Ashâb ise kurumsal süreklilik bakımından önceki örneklerden ayrılmaktadır. Bununla birlikte her iki kurumun da büyük ölçüde devlet desteğiyle faaliyet göstermesi, mezhepler üstü ve bağımsız bir kurumsal kimlik oluşturma konusunda çeşitli tartışmaları beraberinde getirmektedir. Özellikle Mecmaü't-Takrîb'in İran dinî liderliğine bağlı teşkilat yapısı ve yönetim kadrolarında Şiî ulemanın belirgin ağırlığı, kurumun Sünnî çevrelerdeki meşruiyetini ve kapsayıcılığını sınırlandıran başlıca unsurlar arasında yer almaktadır. Benzer şekilde Meberretü'l-Âl ve'l-Ashâb da mezhepler arası diyaloğa katkı sunmakla birlikte faaliyetlerini belirli bir tematik çerçevede sürdürmesi nedeniyle daha sınırlı bir etki alanına sahiptir. Bu bulgular, günümüzdeki takrîb kurumlarının kurumsal kapasitelerinin yüksek olmasına rağmen, mezhepler üstü temsil ve toplumsal kabul bakımından halen önemli sınırlılıklarla karşı karşıya bulunduğunu göstermektedir.

Dolayısıyla bu çalışma, takrîb hareketinin başarısının yalnızca kurumsal devamlılık, düzenlenen kongreler, yayımlanan eserler veya uluslararası toplantılarla ölçülemeyeceğini ortaya koymaktadır. Kurumsallaşma, takrîb düşüncesinin sürdürülebilirliği açısından önemli bir kazanım olmakla birlikte, hareketin nihai başarısı farklı mezhep mensupları arasında karşılıklı güvenin güçlenmesine, önyargıların azalmasına ve geliştirilen diyalog zeminlerinin toplumsal düzeyde karşılık bulmasına bağlıdır. Bu bakımdan kurumsal varlık ile gerçek işlevsellik arasında dikkate değer bir farklılık bulunduğu anlaşılmaktadır.

"Son olarak bu çalışma, Takrîbü'l-Mezâhib hareketinin kurumsallaşma sürecini ve günümüzdeki kurumsal işlevselliğini karşılaştırmalı bir yaklaşımla inceleyerek literatüre katkı sunmayı amaçlamıştır. Bununla birlikte konunun daha kapsamlı biçimde değerlendirilebilmesi için günümüzde faaliyet gösteren takrîb kurumlarının Sünnî ve Şiî toplumlar üzerindeki etkisini ölçmeye yönelik saha araştırmalarına ihtiyaç bulunmaktadır. Ayrıca devlet destekli kurumsal girişimlerin yanı sıra sivil ve entelektüel düzeyde gelişen takrîb pratiklerinin incelenmesi, hareketin farklı biçimlerde nasıl sürdürüldüğünü daha açık biçimde ortaya koyacaktır. Son olarak, ABD-İran ilişkilerinde yaşanan siyasî ve askerî gerilimlerin Takrîbü'l-Mezâhib

kurumlarının faaliyetleri ve mezhepler arası ilişkiler üzerindeki etkilerinin, gelecekte yapılacak araştırmalar açısından önemli bir inceleme alanı oluşturacağı düşünülmektedir.

KAYNAKÇA

Ağçoban, S. (Aralık 2020). "Postmodernizm Açısından Şii-Sünni Yakınlaşmasının Değerlendirilmesi", e-Makalat Mezhep Araştırmaları Dergisi 13/2, 538-579.

Aksoy, N. (2017). Şiî-Sünnî Takrîb Çalışmaları. Isparta: Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Çam, S. (Eylül 2024). "Selâmet ve Sebîlürreşâd Dergileri Bağlamında Sünnî-Şiî Yakınlaşmasının (Takrîbü'l-Mezâhib) Türk Basınına Yansımaları". Eskişehir Osmangazi Üniversitesi İlahiyat Fakültesi Dergisi 11/2, 1071-1091. https://doi.org/10.51702/esoguifd.1478858

Çelenk, M. (2014). "Safevîler Döneminin Şiî-Sünnî İlişkileri Üzerindeki Etkisi". Ortadoğu'nun Geleceği Açısından Şiî-Sünnî İlişkileri. ed. Mesut Okumuş - Cemil Hakyemez. 1/53-68. Çorum: Çorum Belediyesi Kültür Yayınları, 1. Basım.

Çelenk, M. (Güz 2013). "Safevîler Döneminin Şiî-Sünnî İlişkileri Üzerindeki Etkisi". e-Makâlât Mezhep Araştırmaları 6/2, 63-85. https://makale.isam.org.tr/handle/123456789/294440

Duman, A. N. (Haziran 2022). "Hadis Alanındaki Takrîbü'l-Mezâhib Literatürünün Değerlendirilmesi". İdrak Dini Araştırmalar Dergisi 2/1, 87-115.

Hakyemez, C. (2018). "Mezhepleri Yakınlaştırma (Takrîbü'l-Mezâhib) Çalışmalarının Değerlendirilmesi". İslam Araştırmaları Dergisi 29/2, 289-309. https://makale.isam.org.tr/handle/123456789/128735

İslam Mezhepleri Arasında Yakınlaşma Dünya Forumu. "37. Uluslararası İslam Birliği Konferansı/Hakkımızda". Erişim 16 Haziran 2026. https://taqrib.ir/fa/article/category/%D9%85%D9%82%D8%A7%D9%84%D8%A7%D8%AA-%D8%B1%D9%88%D8%B2

Kaplan, D. (2014). "İran'da Şiî-Sünnî Yakınlaştırma Çalışmaları". Ortadoğu'nun Geleceği Açısından Şiî-Sünnî İlişkileri. ed. Mesut Okumuş - Cemil Hakyemez. 1/165-176. Çorum: Çorum Belediyesi Kültür Yayınları, 1. Basım.

Kaplan, D. (Güz 2013). "İran'da Şiî-Sünnî Yakınlaştırma Çalışmaları". e-Makâlât Mezhep Araştırmaları Dergisi 6/2, 257-274.

Kılınç, S. (2019). Risâletü'l-İslam Dergisine Göre Mezhepler Arasi Takrib Düşüncesi. Rize: Recep Tayyip Erdoğan Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Onat, H. (2014). "İran İslâm Devrimi ve Şiîlik". Ortadoğu'nun Geleceği Açısından Şiî-Sünnî İlişkileri. ed. Mesut Okumuş - Cemil Hakyemez. 1/141-164. Çorum: Çorum Belediyesi Kültür Yayınları, 1. Basım.

Özcan, A. (2001). "İttihâd-ı İslâm". Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi. 23/470-475. İstanbul: TDV Yayınları.

Özcan, A. (2006). "Nâdir Şah". Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi. 32/276-277. İstanbul: TDV Yayınları.

Özen, Ş. (2000). "İhtilâf". Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi. 21/565-568. İstanbul: TDV Yayınları.

Sözgen, H. (2024). Ayetullah Burucerdî'nin Kum Havzası'ndaki Faaliyetleri ve Takribü'l-Mezahib Çalışmaları, İstanbul: Marmara Üniversitesi, Orta Doğu ve İslam Ülkeleri Araştırmaları Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Tarik, R. (2018). İslam Düşüncesinde Mezhepleri Yakınlaştırma Girişimleri (Takribü'l-Mezahib: Mısır örneği). İstanbul: İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora

Tezi.
Tarik, R. (Aralık 2019). "Türkiye'de Takrîbü'l-Mezâhib Alanında Yapılan Çalışmaların Değerlendirilmesi". Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi 8/2, 605-620. https://izlik.org/JA28KK97UA
Üzüm, İ. (2010). "Takrîbü'l-Mezâhib". Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi. 39/467-469. İstanbul: TDV Yayınları.
Üzüm, İ. (1998). "Sünnî-Şiî Yakınlaşması: Dârü't-Takrîb Tecrübesi". İslâm Araştırmaları Dergisi 2/171-185.

FERGANA VADİSİ'NDE RADİKALLEŞME SÜRECİ: ÖZBEKİSTAN İSLÂMİ HAREKETİ ÜZERİNE BİR ANALİZ

Ayhan IŞIK
Doç. Dr., Karabük Üniversitesi, İlahiyat Fakültesi, İslam Mezhepleri Tarihi, Karabük Türkiye
ORCID: 0000-0002-7017-2583
Shunkor KHOLIKULOV
Yüksek Lisans Öğrencisi, Karabük Üniversitesi, İlahiyat Fakültesi, İslam Mezhepleri Tarihi Ana Bilim Dalı, Karabük/Türkiye, ORCID: 0009-0005-0090-1655

ÖZ
Sovyetler Birliği'nin dağılmasının ardından Türkistan'da ortaya çıkan radikal dinî hareketler, bölgenin siyasal, toplumsal ve güvenlik dinamikleri açısından önemli araştırma konularından biri hâline gelmiştir. Bu çalışma, Fergana Vadisi merkezli olarak ortaya çıkan Özbekistan İslâmi Hareketi'nin (ÖİH) oluşum sürecini, gelişimini ve ideolojik yapısını, bölgenin sosyo-politik ve dinî koşulları bağlamında incelemektedir. Literatürde hareketin ortaya çıkışı çoğunlukla devlet baskısı veya dinî radikalleşme ekseninde açıklanırken, bu araştırma söz konusu süreci siyasal, ekonomik, toplumsal ve dinî faktörlerin etkileşimi çerçevesinde çok boyutlu bir yaklaşımla ele almaktadır. Bu çerçevede çalışma, Özbekistan İslâmi Hareketi'nin ortaya çıkışını hazırlayan yapısal şartları ve hareketin bölgesel bir oluşumdan uluslararası bağlantılara sahip bir örgüte dönüşme sürecini analiz etmeyi amaçlamaktadır. Araştırmada nitel araştırma yöntemi benimsenmiş, literatür taraması ve doküman incelemesi yoluyla elde edilen veriler betimsel analiz yöntemiyle değerlendirilmiştir. İncelemede Fergana Vadisi'nin demografik yapısı, etnik çeşitliliği, sosyo-ekonomik sorunları, dinî alandaki boşluklar, sınır anlaşmazlıkları ve Sovyet sonrası siyasal dönüşüm süreci birlikte ele alınmıştır. Bulgular, işsizlik, ekonomik kırılganlık, siyasal baskılar ve dinî otorite boşluğunun radikalleşme süreçlerini besleyen önemli yapısal faktörler arasında yer aldığını göstermektedir. Ayrıca, Özbekistan İslâmi Hareketi'nin zamanla yerel bir örgütlenmeden sınır aşan bir yapıya dönüştüğünü, uluslararası cihat ağlarıyla ilişkiler kurduğunu ve bölgesel güvenlik üzerinde etkili olduğunu ortaya koymaktadır. Araştırma sonucunda Özbekistan İslâmi Hareketi'nin ideolojik söyleminin büyük ölçüde Selefî-cihadî eğilimlerden etkilendiği, ancak Fergana Vadisi'nin kendine özgü tarihsel, toplumsal ve siyasal şartları içerisinde şekillendiği ortaya konulmuştur. Bu bağlamda çalışma, Fergana Vadisi'ndeki radikalleşmenin yalnızca dinî faktörlerle açıklanamayacağını, ÖİH'nin ortaya çıkışı ve dönüşümünün yerel dinamikler ile bölgesel ve küresel gelişmelerin etkileşimi çerçevesinde ele alınması gerektiğini göstermektedir.
Anahtar Kelimeler: İslam Mezhepleri Tarihi, Fergana Vadisi, Özbekistan İslâmi Hareketi, Radikalizm, Selefî-Cihadî Hareketler.

THE RADICALIZATION PROCESS IN THE FERGHANA VALLEY: AN ANALYSIS OF THE ISLAMIC MOVEMENT OF UZBEKİSTAN

ABSTRACT
Following the dissolution of the Soviet Union, radical religious movements that emerged in Central Asia became an important subject of scholarly inquiry due to their implications for the region's political, social, and security dynamics. This study examines the emergence, development, and ideological structure of the Islamic Movement of Uzbekistan (IMU), which

originated in the Ferghana Valley, within the context of the region's socio-political and religious conditions. While the emergence of the movement has often been explained in the literature primarily in terms of state repression or religious radicalization, this study approaches the process from a multidimensional perspective that considers the interaction of political, economic, social, and religious factors. Within this framework, the study aims to analyze the structural conditions that facilitated the emergence of the Islamic Movement of Uzbekistan and its transformation from a regional movement into an organization with transnational connections. The study adopts a qualitative research approach and employs literature review and document analysis, with the data evaluated through descriptive analysis. The analysis considers the demographic structure and ethnic diversity of the Ferghana Valley, its socio-economic problems, gaps in religious authority and institutional religious life, border disputes, and the process of post-Soviet political transformation. The findings indicate that unemployment, economic vulnerability, political repression, and gaps in religious authority were among the major structural factors contributing to radicalization. They also show that the Islamic Movement of Uzbekistan gradually evolved from a locally based organization into a transnational structure, established ties with international jihadist networks, and became an actor affecting regional security. The study concludes that the ideological discourse of the Islamic Movement of Uzbekistan was influenced to a considerable extent by Salafi-jihadist tendencies, while also being shaped by the distinctive historical, social, and political conditions of the Ferghana Valley. In this respect, the findings demonstrate that radicalization in the Ferghana Valley cannot be explained solely in terms of religious factors. Rather, the emergence and transformation of the IMU should be understood within the interaction of local dynamics and regional and global developments.
Keywords: History of Islamic Sects, Ferghana Valley, Islamic Movement of Uzbekistan, Radicalism, Salafi-Jihadist Movements.

Giriş

Sovyetler Birliği'nin dağılmasının ardından Türkistan, yeni bağımsız devletlerin ortaya çıktığı bir coğrafya olmanın yanı sıra, din-devlet ilişkilerinin yeniden şekillendiği ve farklı dinî hareketlerin hızla görünür hâle geldiği bir bölge olmuştur. Yaklaşık yetmiş yıl boyunca uygulanan Sovyet din politikaları, dinî kurumları, geleneksel din eğitimini ve İslâm'ın kamusal alandaki varlığını önemli ölçüde sınırlandırmıştır. Bu politikalar, bölge ülkelerinin bağımsızlıklarını ilan etmelerine kadar devam etmiştir (Ağır-Arpacı, 2019, s. 1027).

Bağımsızlık sonrasında ortaya çıkan dinî alandaki kurumsal ve ilmî boşluk ise farklı dinî yorumların ve hareketlerin bölgeye yönelmesini kolaylaştırmıştır (Bedirhan, 2011, s. 439). Bölge ülkelerinde dinî hayat yeniden canlanırken radikal dinî hareketler de görünür hâle gelmiştir. Bu gelişmelerin belirgin biçimde yaşandığı ülkelerden biri Özbekistan'dır (Çalışkan, 2023, s. 93). Türkistan coğrafyasının en kalabalık nüfusuna sahip ülkesi olan Özbekistan, tarih boyunca Buhara, Semerkant, Hive, Hokand ve Fergana gibi şehirleriyle İslâmî ilim geleneğinin önemli merkezlerinden biri olmuştur (Avcı, 2024, s. 523). Bağımsızlıkla birlikte dinî kimliğin kamusal alanda yeniden görünür hâle gelmesi, devletin din politikalarını da yeniden belirlemesini gerektirmiştir. Sovyetler'in dağılması ve beş bağımsız cumhuriyetin ortaya çıkmasıyla bölgede "İslâmiyet'in uyanışı" olarak adlandırılan yeni bir dönem başlamıştır (Köstem, 2016, s. 185). Özbekistan yönetimi, İslâm'ı toplumsal kimliğin bir unsuru olarak kabul ederken, devlet denetimi dışındaki dinî oluşumları güvenlik perspektifiyle değerlendirmiş ve bu yaklaşım çeşitli tartışmalara yol açmıştır (Öğretici, 2024).

Bağımsızlık sonrasında bölge halkının dinî bilgi düzeyinin sınırlı olması ve yeni kurulan devletlerin din alanındaki kurumsal yetersizlikleri, farklı dinî grup ve hareketlerin bölgede daha görünür hâle gelmesini kolaylaştırmıştır. Bu süreçte daha önce bölgede sınırlı ölçüde bilinen veya faaliyetleri sınırlı kalan çeşitli dinî grup ve hareketler daha görünür hâle gelmiştir (Musahan, 2022, s. 21).

Bu dönemde özellikle Fergana Vadisi, sahip olduğu yüksek nüfus yoğunluğu, etnik çeşitliliği, ekonomik kırılganlığı, sınır anlaşmazlıkları ve dinî hareketliliği nedeniyle radikal örgütlerin faaliyet alanlarından biri hâline gelmiştir. Tacikistan ve Afganistan üzerinden gelişen sınır ötesi örgütsel bağlantılar, bölgedeki sosyo-ekonomik sorunlar ve dinî alandaki kurumsal boşluklar, radikalleşme süreçlerini besleyen yapısal faktörler arasında yer almıştır (Cafer, 2023, s. 17). Bu şartlar altında ortaya çıkan Özbekistan İslâmi Hareketi (ÖİH), zamanla yerel bir yapılanmanın ötesine geçerek Orta Asya güvenliğini etkileyen bölgesel ve uluslararası bağlantılara sahip bir örgüt niteliği kazanmıştır (Demirci, 2012, s. 39).

Bağımsızlıktan sonra, genelde Türkistan'daki, özelde Özbekistan'daki İslâmcı akımlar mevcut yönetimlere karşı çeşitli muhalefet biçimleri geliştirmiştir. Bu hareketlerin bir kısmı, İslâmî söylemi mevcut siyasal düzenin meşruiyetini sorgulayan bir araç olarak kullanmıştır. Bu söylem, bazı radikal dinî hareketlerde mevcut siyasal düzenin reddedilmesine kadar uzanmıştır (Çaman-Dağcı, 2014, s. 15-16). Bölgedeki radikal İslâmcı hareketlerin bir kısmı, Türkistan'da tarihsel olarak hâkim olan Hanefî-Mâtürîdî gelenekten farklı dinî anlayışlara sahip Selefî eğilimlerden etkilenmiştir. Bunlar arasında Selefî-cihadî düşünceyi benimseyen bazı yapılar özellikle Fergana Vadisi'nde görünürlük kazanmıştır (Şahin, 2022, s. 629). Ekonomik sorunlar, Tacikistan ve Afganistan'daki örgütsel ağlar, dış kaynaklı dinî ve ideolojik etkiler ile siyasal muhalefet imkânlarının sınırlılığı, radikal yapıların gelişimini kolaylaştıran faktörler arasında yer almıştır (Ağır-Arpacı, 2019, s. 1040).

Özbekistan İslâmi Hareketi üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, hareketin ortaya çıkışı çoğunlukla devlet baskısı, otoriter yönetim anlayışı, din özgürlüğünün sınırlandırılması veya radikal dinî ideolojiler çerçevesinde açıklanmaktadır (Khalid, 2011, s. 170-172). Bu yaklaşımlar, hareketin gelişiminde etkili olan önemli faktörleri ortaya koymakla birlikte, Fergana Vadisi'nin kendine özgü tarihsel, toplumsal, ekonomik ve jeopolitik koşullarını ve bunların hareketin ortaya çıkışındaki etkisini çoğu zaman ikincil planda bırakmaktadır (Çalışkan, 2012, s. 379). Özellikle bölgenin demografik yapısı, sınır sorunları, ekonomik kırılganlığı ve dinî otorite boşluğu ile ÖİH'nin uluslararası cihat ağlarıyla kurduğu bağlantıları birlikte ele alan çalışmaların sınırlı olduğu görülmektedir.

Bu çalışma, Özbekistan İslâmi Hareketi'nin ortaya çıkış ve gelişim sürecini Fergana Vadisi'nin tarihsel, siyasal, ekonomik ve dinî koşulları çerçevesinde incelemektedir. Bu kapsamda hareketin oluşumu, ideolojik yapısı, örgütlenmesi ve bölgesel bağlantıları birlikte ele alınarak radikalleşmede etkili olan faktörler arasındaki ilişki incelenmektedir. Araştırmada nitel araştırma yöntemi benimsenmiş, literatür taraması ve doküman incelemesi sonucunda elde edilen veriler betimsel analizle değerlendirilmiştir. İncelemede Fergana Vadisi'nin demografik, ekonomik, dinî ve jeopolitik özellikleri ile Sovyet sonrası siyasal dönüşüm süreci birlikte ele alınmıştır. Mirziyoyev dönemindeki din politikaları ve reform girişimleri ise Özbekistan'ın radikalizmle mücadele politikalarındaki değişim bağlamında incelenmiştir.

1. Fergana Vadisi: Radikalleşmenin Yapısal Dinamikleri

Bağımsızlığın ardından Özbekistan'da radikal dinî hareketlerin ortaya çıkışını hazırlayan önemli etkenlerden biri, Sovyet sonrası dönemde yaşanan sosyo-ekonomik dönüşüm sürecidir. Sovyetler Birliği'nin dağılmasıyla birlikte ülke, üretimde daralma, işsizlik, yüksek enflasyon ve

gelir dağılımındaki bozulma gibi ciddi ekonomik sorunlarla karşı karşıya kalmıştır (Avcı, 2024, s. 531-532). Bu sorunların özellikle genç nüfus üzerindeki etkileri, radikal örgütlerin gençler arasında taraftar ve üye bulmasını kolaylaştırmıştır (Aktaş, 2021, s. 91-92).

Sosyo-ekonomik sorunlara ek olarak, Sovyet döneminde uygulanan din karşıtı politikalar, bağımsızlık sonrasında dinî alanda kurumsal bir boşluk meydana getirmiştir. Bu dönemde toplumun dinî bilgi ihtiyacını karşılayacak yeterli sayıda ve nitelikte din adamının bulunmaması bir sorun oluşturmuş, devletle uyumlu din adamları ile siyasî İslâm anlayışını benimseyen gruplar arasındaki görüş ayrılıkları da belirginleşmiştir. Dinî alandaki bu kurumsal boşluk ve görüş ayrılıkları, radikal grupların faaliyetlerini genişletmesini kolaylaştırmıştır (Öğretici, 2024, s. 111-114).

Bu yapısal sorunların belirgin biçimde hissedildiği bölgelerden biri Fergana Vadisi olmuştur. Özbekistan, Kırgızistan ve Tacikistan sınırlarının kesiştiği Fergana Vadisi, tarih boyunca Türkistan'ın önemli yerleşim ve ticaret merkezlerinden biri olmuştur. Yaklaşık on milyonluk nüfusuyla bölgenin en yoğun yerleşim alanlarından biri olan vadide, sınırlı tarım alanları ve ekonomik imkânlar bağımsızlık sonrasında sosyo-ekonomik sorunları artırmıştır. Vadinin üç devlet arasında paylaşılması ise sınır, toprak ve kaynak kullanımı konusunda anlaşmazlıklara yol açmıştır (Demirci, 2012, s. 34-35).

Fergana Vadisi'nde İslâm, gündelik hayat, yerel gelenekler ve tasavvufî yapılarla yakın ilişki içinde varlığını sürdürmüştür. Bağımsızlık sonrasında farklı dinî ve ideolojik eğilimler de görünürlük kazanmıştır. Bununla birlikte bölgedeki radikalleşme yalnızca dinî faktörlerle değil, nüfus yoğunluğu, işsizlik, tarım arazileri üzerindeki baskı ve ekonomik imkânların sınırlılığı gibi sosyo-ekonomik sorunlarla da ilişkilendirilmiştir (Er, 2020, s. 177, 187). Bu sorunlar, özellikle genç nüfusun radikal örgütlere yönelmesini kolaylaştıran koşullar arasında değerlendirilmiştir (Biçer, 2014, s. 31).

Vadinin başkent Taşkent'e ve idarî merkezlere görece uzaklığı, devlet otoritesinin bölgedeki etkisini sınırlandırmıştır. Bölge, tarih boyunca din âlimlerine, tasavvuf çevrelerine ve çeşitli siyasî hareketlere ev sahipliği yapmıştır. Bu tarihsel birikim, Fergana Vadisi'nde farklı dinî ve siyasî eğilimlerin gelişmesine zemin hazırlamıştır. Bağımsızlık sonrasında yaşanan dinî ve siyasî dönüşümle birlikte yeni dinî hareketler de bölgede görünür hâle gelmiştir (Demirci, 2012, s. 36).

Fergana Vadisi'ndeki radikalleşme sürecinde bölgenin etnik ve siyasî özellikleri de etkili olmuştur. Özbek, Kırgız ve Tacik nüfusun birlikte yaşadığı bölgede zaman zaman etnik gerilimler yaşanmıştır. Sovyet dönemindeki idarî sınırların bağımsızlık sonrasında devlet sınırlarına dönüşmesi, sınır anlaşmazlıklarını beraberinde getirmiştir. Tacikistan'daki iç savaş ile Afganistan kaynaklı silahlı ve radikal grupların bölgeyle kurduğu bağlantılar da mevcut sorunları derinleştirmiştir. Bu gelişmeler, Fergana Vadisi'ndeki güvenlik sorunlarını artırmıştır (Akçalı, 2002, s. 29).

Bu bölümde ele alınan faktörler, Fergana Vadisi'ndeki radikalleşmenin ekonomik kırılganlık, genç nüfus, dinî alandaki kurumsal boşluk, etnik gerilimler, sınır sorunları ve bölgesel çatışmalar gibi birbiriyle ilişkili yapısal koşullardan etkilendiğini göstermektedir. Bu nedenle Özbekistan İslâmi Hareketi'nin ortaya çıkışı, Fergana Vadisi'nin sosyo-ekonomik, siyasal, dinî ve güvenlik koşullarının birlikte etkili olduğu bir süreç olarak ele alınmalıdır.

2. Özbekistan İslâmi Hareketi'nin Ortaya Çıkışı ve Gelişimi

Bağımsızlığın ardından Fergana Vadisi'nde farklı dinî gruplar örgütlenmeye başlamıştır. 1991'den itibaren özellikle Namangan'da Selefî eğilimli yapılar örgütlenmiş, camiler ve dinî çevreler bu grupların örgütlenme ve faaliyet alanları arasında yer almıştır (Bedirhan, 2011, s.

447). Bu yapılar, dinî söylemlerinin yanı sıra toplumsal dayanışma ağları ve yerel örgütlenmeleriyle de görünürlük kazanmıştır. Bazı kaynaklarda, Suudi Arabistan'daki Özbek çevrelerinin bu yapılanmalara maddî destek sağladığı ileri sürülmekle birlikte, bu iddiaları doğrulayan yeterli veri bulunmamaktadır (Er, 2020, s. 163).

Özbekistan İslâmi Hareketi'nin ortaya çıkışı, 1990'lı yılların başında Namangan'da faaliyet gösteren çeşitli İslâmcı grupların oluşturduğu dinî-siyasî çevreyle yakından ilişkilidir. Bu gruplarda faaliyet gösteren bazı isimler, ilerleyen yıllarda ÖİH'nin kurucu kadrosunda yer almıştır. Örgüt, Özbekistan'daki mevcut siyasal düzeni değiştirerek İslâmî esaslara dayalı bir yönetim kurmayı hedeflemiştir. Tahir Yoldaşev hareketin siyasî ve ideolojik liderliğini üstlenirken, Cuma Hocayev (Cuma Namangani) askerî faaliyetlerin yönetiminde öne çıkmıştır (Cafer, 2023, s. 18).

Tahir Yoldaşev, Sovyetler Birliği'nin dağılmasının ardından Namangan'da faaliyet gösteren Adalet hareketinin önde gelen isimlerinden biridir. Şeriatın uygulanmasını savunan Adalet, bağımsızlık sonrasında Özbekistan'da siyasal İslâm söylemini örgütlü biçimde dile getiren ilk hareketlerden biridir (Çalışkan, 2023, s. 94). 1990'lı yılların başlarında Namangan'daki Otavalihon Camii çevresinde Adalet, İslâm Askerleri, Bereket ve Tövbe gibi grupların faaliyetleriyle geniş bir dinî-siyasî çevre oluşmuştur (Çaman-Dağcı, 2014, s. 16). Bu ortam, daha sonra ÖİH içerisinde yer alacak bazı isimlerin faaliyet gösterdiği ve hareketin ideolojik yöneliminin gelişmeye başladığı yerel bir zemin oluşturmuştur.

Örgütün askerî kanadının önde gelen ismi Cuma Namangani, Sovyet-Afgan Savaşı'nda askerî tecrübe kazanmış, Tacikistan İç Savaşı sırasında ise silahlı muhalif gruplarla birlikte hareket etmiştir (Avcı, 2024, s. 533). Afganistan'daki çevrelerle de bağlantılar kuran Namangani, ÖİH'nin sınırdışı askerî ve örgütsel bağlantılarının kurulmasında etkili olmuştur. Literatürde, Namangani'nin Suudi Arabistan'daki bazı çevrelerle temas kurduğu da ileri sürülmektedir (Öğretici, 2024, s. 118). Namangani'nin Tacikistan ve Afganistan'da kurduğu bağlantılar, ÖİH'nin faaliyet alanının Fergana Vadisi dışına taşınmasını kolaylaştırmıştır.

ÖİH'yi ortaya çıkaran örgütsel çevreler, ilk aşamada silahlı mücadeleyi temel yöntem olarak benimsememiştir. 1990-1992 yılları arasında Namangan merkezli faaliyet gösteren bu gruplar, cami ve medreseler aracılığıyla toplumsal destek sağlamaya çalışmıştır. Özellikle işsiz gençlere yönelen bu faaliyetler belirli bir toplumsal karşılık bulmuş, Kurgan Tepe'deki yapılanmanın yaklaşık beş bin üyeye ulaştığı ileri sürülmüştür (Khalid, 2011, s. 172-173). Bu grupların dinî söylemlerini sosyo-ekonomik sorunlarla ilişkilendirmeleri, özellikle gençler arasında destek bulmalarını kolaylaştırmıştır (Erşahin, 1998, s. 47).

1990'lı yılların ortalarından itibaren bu çevrelerin söylem ve yöntemlerinde belirgin bir radikalleşme yaşanmıştır. Tacikistan'ın Tavildere Vadisi'nde üslenen gruplar, askerî ve lojistik imkânlarını geliştirerek faaliyetlerini Afganistan'a taşımıştır (Çalışkan, 2023, s. 95-96). Tahir Yoldaşev ve Cuma Namangani öncülüğünde 1998 yılında Kandahar'da Özbekistan İslâmi Hareketi ilan edilmiştir (Kavukcu, 2021, s. 93-94). ÖİH, Özbekistan yönetimine karşı silahlı mücadeleyi benimsemiş ve İslâmî esaslara dayalı bir yönetim kurmayı hedeflemiştir. Böylece Namangan'da başlayan yerel örgütlenme, Tacikistan ve Afganistan'da kurulan bağlantılarla sınırdışı silahlı bir yapıya dönüşmüştür (Pulat, 2019, s. 59).

Bu süreçte Özbekistan yönetimi, devlet denetimi dışındaki dinî yapılanmalara yönelik güvenlik politikalarını yoğunlaştırmıştır. 1992-1993 yıllarındaki operasyonlarda çok sayıda kişi gözaltına alınırken, yaklaşık iki bin kişinin Tacikistan ve Afganistan'a geçtiği belirtilmektedir. Bu kişilerin önemli bir bölümü daha sonra Tacikistan İç Savaşı'nda Birleşik Tacik Muhalefeti saflarında yer almıştır (Çaman-Dağcı, 2014, s. 17). Ülke dışına çıkan radikal dinî çevrelerin

Tacikistan ve Afganistan'daki silahlı gruplarla kurduğu bağlantılar, ÖİH'nin faaliyet alanının Özbekistan dışına genişlemesini kolaylaştırmıştır (Büyükkara, 2012, s. 1300-1301).

2.1. Özbekistan İslâmi Hareketi'nin Taliban ve El-Kaide ile İlişkileri: Uluslararasılaşma Süreci

Özbekistan İslâmi Hareketi (ÖİH), Afganistan'a geçtikten sonra Taliban kontrolündeki bölgelerde faaliyet göstermeye ve El-Kaide ile ilişkiler kurmaya başlamıştır (Cafer, 2023, s. 20). Bu ilişkiler, ÖİH'nin Afganistan'daki askerî ve örgütsel imkânlarını genişletmiş ve uluslararasılaşmasını hızlandırmıştır. Kabil-Kandahar hattı da ÖİH'nin faaliyetlerini sürdürdüğü başlıca merkezlerden biri hâline gelmiştir (Büyükkara, 2012, s. 1309). El-Kaide, farklı coğrafyalarda faaliyet gösteren silahlı gruplarla kurduğu bağlantılarla uluslararası bir örgütsel ağ geliştirmiştir. ÖİH, Orta Asya merkezli hedeflerini korurken bu ağ üzerinden daha geniş cihat çevreleriyle temas kurmuş ve faaliyetlerini Orta Asya dışına taşımıştır. Böylece hareketin faaliyet alanı genişlemiştir (Büyükkara, 2016, s. 71-73).

Tahir Yoldaşev'in Kandahar'da El-Kaide ve Taliban'ın önde gelen isimleriyle aynı çevrede faaliyet göstermesi ve Cuma Namangani'nin Tacikistan'dan ayrıldıktan sonra Afganistan'da Taliban kontrolündeki bölgelerde barınması, örgütler arasındaki teması göstermektedir (Bedirhan, 2011, s. 449). Bunun yanında, ÖİH'nin finansmanında El-Kaide kaynakları, uyuşturucu ticaretinden sağlanan gelirler ve Suudi Arabistan'daki bazı Özbek diasporası çevrelerinden sağlanan maddî desteğin etkili olduğu ileri sürülmektedir (Er, 2020, s. 165-167). Her ne kadar bu finansman kaynaklarının tamamı doğrudan doğrulanamasa da farklı referansların benzer bulgulara işaret etmesi, ÖİH'nin dış kaynaklardan finansman sağladığına ilişkin iddiaları desteklemektedir (Demirci, 2012, s. 55-56).

ÖİH ile El-Kaide arasındaki ilişki yalnızca örgütsel ve askerî iş birliğiyle sınırlı değildir. Tahir Yoldaşev'in konuşmaları ve örgütün yayımladığı bildiriler incelendiğinde, ÖİH'nin ideolojik söyleminin El-Kaide'nin benimsediği küresel cihat anlayışıyla önemli ölçüde örtüştüğü görülmektedir. Mevcut laik yönetimlerin gayrimeşru kabul edilmesi, silahlı cihadın meşru bir mücadele yöntemi olarak benimsenmesi ve İslâmî esaslara dayalı bir siyasal düzen kurulmasının temel hedef olarak sunulması, iki örgüt arasındaki ideolojik yakınlığın başlıca göstergeleridir (Khalid, 2011, s. 170-171). Afganistan dönemi, ÖİH'nin askerî kapasitesinin geliştiği ve ideolojik yöneliminin belirginleştiği bir dönem olmuştur.

1999 yılında Taşkent'te gerçekleştirilen ve ÖİH ile ilişkilendirilen bombalı saldırılar, örgütün daha geniş ölçekte tanınmasına yol açmıştır. Aynı yıl Kırgızistan'ın Batken bölgesindeki faaliyetleri, ÖİH'nin Özbekistan dışındaki askerî faaliyetlerini de görünür hâle getirmiştir. Bu gelişmelerin ardından ABD Dışişleri Bakanlığı, ÖİH'yi 25 Eylül 2000 tarihinde Yabancı Terör Örgütleri (Foreign Terrorist Organization-FTO) listesine almıştır (Çaman-Dağcı, 2014, s. 17). ÖİH, 6 Ekim 2001'de El-Kaide, Usame bin Ladin ve Taliban ile bağlantıları nedeniyle Birleşmiş Milletler yaptırım listesine de alınmıştır (Khalid, s. 169). Bu kararlarla ÖİH, uluslararası güvenlik politikalarının doğrudan konusu hâline gelmiştir. Özbekistan yönetimi, ÖİH ile El-Kaide arasındaki bağlantılara daha erken tarihlerde dikkat çekmiş ve Tahir Yoldaşev ile Usame bin Ladin arasında doğrudan ilişki bulunduğunu ileri sürmüştür (Bıçakçı, 2008, s. 7-8). ÖİH'nin El-Kaide ve Taliban ile ilişkileri daha sonraki uluslararası kayıtlarda da yer almıştır.

11 Eylül sonrasında Amerika Birleşik Devletleri'nin Afganistan'da yürüttüğü askerî operasyonlar, ÖİH'nin askerî kapasitesini zayıflatmıştır. 2001 yılında Kunduz çevresindeki çatışmalarda Cuma Namangani'nin öldürülmesi, örgütün askerî yapılanmasında ciddi bir kayıp oluşturmuştur (Çaman-Dağcı, 2014, s. 17-18). Aynı dönemde Afganistan'daki eğitim kamplarının dağıtılması ve finansman kaynaklarının daralması, ÖİH'nin faaliyetlerini

sınırlandırmıştır (Kavukcu, 2021, s. 95). Buna rağmen örgüt varlığını sürdürmüş ve sonraki yıllarda Afganistan-Pakistan sınır bölgesinde faaliyetlerine devam etmiştir. 2004 yılında ÖİH'den ayrılan bir grup, İslâmî Cihat Birliği'ni (Islamic Jihad Union/Group) kurmuştur. Tahir Yoldaşev'in 2009 yılında öldürülmesiyle de örgütün lider kadrosunda bir başka kayıp yaşamıştır (Öğretici, 2024, s. 120-121).

ÖİH, sonraki yıllarda değişen bölgesel koşullar altında varlığını sürdürmüştür. 2015 yılında Usman Gazi liderliğindeki kanadın IŞİD lideri Ebû Bekir el-Bağdâdî'ye bağlılık ilan etmesi, örgüt içindeki ideolojik ve örgütsel ayrışmayı belirginleştirmiştir (Cafer, 2023, s. 20-21). Bu gelişmenin ardından Taliban ile ilişkiler bozulmuş ve IŞİD'e bağlılık bildiren kanat, Taliban'la yaşanan çatışmalarda ağır kayıplar vermiştir. Bu çatışmalar ve örgüt içindeki ayrışmalar, ÖİH'nin askerî kapasitesini ve örgütsel bütünlüğünü önemli ölçüde zayıflatmıştır (Naumkin, 2003, s. 61).

Sonuç olarak ÖİH'nin Taliban ve El-Kaide ile kurduğu ilişkiler, örgütün uluslararasılaşmasını hızlandırmıştır. Ancak 11 Eylül sonrasında Afganistan'da yürütülen askerî operasyonlar, lider kadrosundaki kayıplar ve örgüt içindeki ayrışmalar, ÖİH'nin askerî kapasitesini zayıflatmış ve örgütsel bütünlüğünü önemli ölçüde bozmuştur.

2.2. Selefî Etkileşimler ve Özbekistan İslâmi Hareketi'nin İdeolojik Söylemi

ÖİH'nin ideolojik yapısını anlamak için, Sovyetler Birliği'nin dağılmasının ardından Türkistan'da dinî hayatın hangi şartlar altında yeniden şekillendiğinin dikkate alınması gerekir. Bağımsızlığın ilk yıllarında bölgede dinî hayat yeniden canlanmaya başlamış, ancak uzun yıllar uygulanan din karşıtı politikalar nedeniyle ortaya çıkan kurumsal ve ilmî boşluk, farklı dinî akımların bölgede faaliyet göstermesini kolaylaştırmıştır. 1990'lı yılların başlarında bölgede dinî faaliyetler görece serbestlik kazanmış ve farklı dinî eğilimler kamusal alanda daha görünür hâle gelmiştir. Bağımsızlık sonrasında Türkistan'ın dış dünyaya açılmasıyla bölgenin farklı dinî düşünce ve hareketlerle teması artmıştır (Musahan, 2022, s. 7). Bu süreçte Selefî eğilimler de çeşitli kanallar aracılığıyla bölgede görünürlük kazanmış, geleneksel Hanefî-Mâtürîdî din anlayışından farklı yaklaşımlar yayılmaya başlamıştır. Bu etkileşim ortamı, Özbekistan'daki farklı dinî hareketlerin söylemlerini de etkilemiştir. ÖİH'nin Selefî-cihadî düşünceyle ilişkisi ise hareketin ideolojik söyleminde daha belirgin biçimde ortaya çıkmıştır (Er, 2020, s. 165).

Selefîlik, İslâm'ın ilk nesillerinin din anlayışını referans alan ve Kur'an ile Sünnet'e dönüşü vurgulayan geniş bir dinî düşünce eğilimini ifade etmektedir. Modern dönemde Selefîlik, farklı siyasî ve dinî yönelimlere sahip çeşitli eğilimlere ayrılmıştır. Muhammed b. Abdülvehhâb'ın XVIII. yüzyılda Arabistan'da başlattığı hareket ise Suûd ailesiyle kurduğu ittifak sonucunda siyasî bir boyut kazanmış ve Suudi Arabistan'ın kuruluş sürecinde kurumsallaşmıştır (Büyükkara, 2016, s. 60-61). Bu noktada Selefîlik ile Selefî-cihadî yönelimin birbirinden ayrılması gerekir. Selefî-cihadîlik, modern Selefî düşünce içerisindeki siyasî ve ideolojik yönelimlerden biridir (Barış, 2026, s. 805-806). Siyasal değişim için silahlı cihadı meşru bir yöntem olarak benimsemesi, bu yönelimi diğer Selefî eğilimlerden ayırmaktadır (Yılmaz, 2024, s. 16). Bu nedenle ÖİH'nin ideolojik yönelimi incelenirken Selefîliğin bütünü değil, örgütün etkileşim içinde bulunduğu Selefî-cihadî düşünce üzerinde durulmalıdır.

Sovyetler Birliği'nin dağılmasıyla birlikte Türkistan'da oluşan dinî boşluk, Suudi Arabistan merkezli kurumların bölgedeki faaliyetlerini kolaylaştırmıştır. Bu dönemde bölgeden öğrenciler din eğitimi amacıyla Suudi Arabistan'a gönderilmiş, burs programları, dinî vakıflar, yardım kuruluşları ve yayın faaliyetleri aracılığıyla Selefî eğilimler bölgede yayılmaya başlamıştır. Özellikle Medine İslâm Üniversitesi gibi kurumlarda eğitim gören bazı öğrenciler, ülkelerine döndükten sonra edindikleri dinî anlayışı çevrelerine aktarmıştır (Yaşa, 2026, s. 95).

Bu faaliyetlerle birlikte Selefî söylem Türkistan'da daha görünür hâle gelmiştir (Kocaoğlu, 2017, s. 347). Böylece bölgede tarihsel olarak hâkim olan Hanefî-Mâtürîdî geleneğin yanında farklı dinî yorumlar da yaygınlık kazanmıştır.

Bu süreçte Özbekistan'ın önde gelen din âlimlerinden Muhammed Sâdık Muhammed Yusuf, Selefî eğilimlerin yayılmasına karşı ilmî çalışmalar yürütmüştür. Muhammed Sâdık Muhammed Yusuf, Namangan Kadısı Ömer Han Damulla ile birlikte Tahir Yoldaşev'i radikal söylemlerinden vazgeçirmeye çalışmış, ancak bu girişim sonuç vermemiştir (Büyükkara, 2012, s. 1297, 1300). Bu durum, Özbekistan'daki geleneksel dinî otoriteler ile radikal dinî çevreler arasındaki fikrî ayrışmayı göstermektedir.

ÖİH'nin ideolojik söylemi, Selefî-cihadî düşüncenin belirgin etkilerini taşımaktadır. Örgüt, mevcut siyasî yönetimin meşruiyetini reddetmiş, şeriata dayalı bir devlet düzeni kurmayı hedeflemiş, silahlı cihadı meşru bir mücadele yöntemi olarak benimsemiş ve demokratik yönetim modellerini reddetmiştir (Khalid, 2011, s. 170). Bununla birlikte hareket, söylemini yalnızca dinî referanslar üzerine kurmamıştır. Dönemin Özbekistan yönetimini Batı yanlısı ve İslâm karşıtı politikalar izlemekle suçlamış, anti-Amerikan ve anti-İsrail söylemlerini de propagandasında kullanmıştır (Er, 2020, s. 167). ÖİH'nin ideolojik söyleminde böylece dinî referanslar, siyasî muhalefet ve küresel cihat söylemi bir araya gelmiştir.

ÖİH, bu dönemde faaliyet gösteren Hizbuttahrir, Ekremiyye ve benzeri yapılardan özellikle mücadele yöntemi bakımından ayrılmaktadır. Hizbuttahrir siyasal dönüşümü büyük ölçüde fikrî ve toplumsal faaliyetlerle gerçekleştirmeyi savunurken (Öğretici, 2024, s. 121), ÖİH silahlı mücadeleyi temel yöntem olarak benimsemiştir (Khalid, 2020, s. 178). ÖİH'yi bu yapılardan ayıran temel farklardan biri, siyasal hedeflerini silahlı mücadele yoluyla gerçekleştirmeyi benimsemesidir (Asl, 2022, s. 96).

ÖİH'nin söyleminde mevcut siyasal düzenin meşruiyetinin reddedilmesi önemli bir yer tutmaktadır. Örgüt, propaganda faaliyetlerinde Özbekistan'daki ekonomik sorunlar ve siyasal memnuniyetsizlikleri mevcut yönetime yönelik eleştirileriyle birleştirmiştir (Er, 2020, s. 187). Bunun yanında ÖİH'nin söyleminde kendi dinî ve siyasî yorumunu meşru kabul eden, buna karşılık mevcut yönetimi ve rakip dinî-siyasî yaklaşımları dışlayan bir söylemin öne çıktığı görülmektedir. Bu dışlayıcı yaklaşım, örgütün Selefî-cihadî ideolojik yöneliminin unsurlarından biridir (Olcott, 2007, s. 29).

ÖİH'nin ideolojik söylemine silahlı mücadele yöntemi eşlik etmiştir. Örgütün silahlı faaliyetleri zamanla Özbekistan dışındaki operasyonları, rehine alma eylemlerini ve gerilla faaliyetlerini de kapsayacak biçimde genişlemiştir (Pulat, s. 59). 1999 yılında Taşkent'te Cumhurbaşkanı İslam Kerimov'u hedef aldığı belirtilen bombalı saldırılar ise Özbekistan yönetimi tarafından ÖİH ile ilişkilendirilmiştir (Öğretici, 2024, s. 119). Bu saldırının ardından Özbekistan yönetimi, devlet denetimi dışında faaliyet gösteren dinî yapılanmaları daha geniş bir güvenlik çerçevesinde değerlendirmiş ve bunlara yönelik tedbirleri artırmıştır (Musahan, 2022, s. 13).

Sonuç olarak ÖİH'nin ideolojik yapısı, yalnızca Selefî düşüncenin bölgeye taşınmasının bir sonucu olarak açıklanamaz. Hareketin söylemi, Selefî-cihadî düşüncenin etkilerini taşımakla birlikte, Fergana Vadisi'nin sosyo-ekonomik sorunları, Sovyet sonrası siyasal dönüşüm, devletle yaşanan çatışmalar ve uluslararası bağlantılar içerisinde şekillenmiştir. Bu nedenle ÖİH'nin ideolojik söylemi, Selefî-cihadî düşünce ile Fergana Vadisi'nin tarihsel, siyasal ve sosyo-ekonomik şartlarının etkileşimi çerçevesinde ele alınmalıdır.

3. Özbekistan İslâmi Hareketi Karşısında Devletin Güvenlik Politikaları

Özbekistan İslâmi Hareketi'nin ortaya çıkışı ve kısa sürede bölgesel ölçekte faaliyet gösteren silahlı bir örgüte dönüşmesi, bağımsızlık sonrasında Özbekistan'ın güvenlik politikalarını daha

da sertleştirmiştir. Özbekistan yönetimi, radikal dinî örgütleri kamu düzeni, siyasal istikrar, toprak bütünlüğü ve ulusal güvenlik açısından tehdit olarak değerlendirmiştir. Yönetim, bir taraftan dinî hayatın yeniden canlanmasını belirli ölçülerde desteklerken, diğer taraftan devlet denetimi dışında faaliyet gösteren dinî yapılara yönelik denetim ve güvenlik tedbirlerini artırmıştır (Pulat, 2019, s. 2).

Dinî radikalizm, literatürde farklı biçimlerde tanımlanmakla birlikte, bu çalışmada dinî referanslar üzerinden mevcut siyasal ve toplumsal düzeni kökten değiştirmeyi amaçlayan ve mevcut düzenin meşruiyetini reddeden ideolojik yönelimleri ifade etmektedir (Ağır-Arpacı, 2019, s. 81). Şiddeti bu dönüşümün yöntemi olarak benimseyen hareketler ise dinî radikalizmin silahlı biçimleri kapsamında ele alınmaktadır (Kavukcu, 2021, s. 81). ÖİH, mevcut laik yönetimi reddeden, şeriata dayalı bir siyasal düzen kurmayı amaçlayan ve silahlı mücadeleyi meşru gören söylemiyle bu çerçevede ele alınmaktadır.

Fergana Vadisi'ndeki nüfus yoğunluğu, etnik çeşitlilik, sosyo-ekonomik sorunlar, sınır anlaşmazlıkları ve bölgesel çatışmalar, Özbekistan'ın güvenlik politikalarını etkileyen koşullar arasında yer almıştır (Demirci, 2012, s. 41-56). Özbekistan yönetimi, güvenlik politikalarını yalnızca örgüt mensuplarına yönelik askerî tedbirlerle sınırlamamış, sınır güvenliği, istihbarat faaliyetleri ve bölgesel iş birliğine de ağırlık vermiştir (Kanat-Kılınç, 2024, s. 48-49).

Özbekistan'ın güvenlik politikaları, uluslararası alanda farklı biçimde değerlendirilmiştir. Bazı araştırmacılar ve insan hakları kuruluşları, yönetimin radikalizm tehdidini siyasal muhalefeti ve devlet denetimi dışındaki dinî çevreleri sınırlandırmak amacıyla geniş biçimde yorumladığını ileri sürmektedir (Byerdımurat, 2021, s. 180-181). Nitekim dönemin insan hakları raporlarında, güvenlik politikalarının yalnızca silahlı örgüt mensuplarını değil, şiddet eylemleriyle bağlantısı bulunmayan bazı bağımsız Müslümanları da kapsadığı belirtilmektedir (Öğretici, 2024, s. 69-70). Bununla birlikte ÖİH'nin 1999 ve 2000 yıllarındaki silahlı faaliyetleri ile El-Kaide ve Taliban'la kurduğu ilişkiler, Özbekistan'ın silahlı örgütlerden kaynaklanan güvenlik tehditleriyle karşı karşıya olduğunu da göstermektedir (Bedirhan, 2011, s. 448). Dolayısıyla Özbekistan'ın güvenlik politikaları değerlendirilirken silahlı örgütlerin oluşturduğu tehdit ile devletin aldığı tedbirlerin kapsamına ilişkin insan hakları ve din özgürlüğü eleştirileri ayrı ayrı ele alınmalıdır (Er, 2020, s. 200-201).

Güvenlik politikalarının uygulanışı da uluslararası insan hakları çevrelerinde eleştirilmiştir. Özellikle uzun süreli tutuklamalar, dinî faaliyetlere yönelik sıkı denetimler ve radikalizm şüphesiyle gerçekleştirilen geniş kapsamlı operasyonlar, uluslararası kuruluşlar ve insan hakları örgütleri tarafından din ve düşünce özgürlüğü açısından eleştirilmiştir (Khalid, 2011, s. 182). Buna karşılık Özbekistan yönetimi, devlet denetimi dışındaki bazı dinî yapılanmaları yalnızca dinî özgürlük çerçevesinde değerlendirmemiş, bu yapıları siyasal düzen ve ulusal güvenlik açısından da tehdit olarak görmüştür (Byerdımurat, 2021, s. 121-122). Bu durum, güvenlik tedbirlerinin kapsamı ile din ve düşünce özgürlüğü arasındaki tartışmaların temelini oluşturmuştur.

Özbekistan'ın din politikaları güvenlik tedbirleriyle sınırlı kalmamıştır. Bağımsızlık sonrasında İslâmî mirasın yeniden görünür hâle gelmesini destekleyen çeşitli uygulamalar hayata geçirilmiştir. İslâm Üniversitesi'nin kurulması, hac organizasyonuna sağlanan lojistik destek ve tarihî İslâmî mekânların korunması, İslâm'ın kamusal hayattaki varlığının devlet denetimi altında desteklendiğini göstermektedir. Bunun yanında farklı dönemlerde çıkarılan aflar kapsamında, dinî aşırılık suçlamalarıyla hüküm giymiş bazı kişilerin cezaları hafifletilmiş veya bu kişiler tahliye edilmiştir (Er, 2020, s. 191-192, 194). Dolayısıyla devletin din politikası, güvenlik tedbirlerinin yanı sıra resmî dinî kurumların desteklenmesi, İslâmî mirasın korunması

ve belirli dönemlerde uygulanan afları da kapsamıştır.

Bu durum, Özbekistan'ın bağımsızlık sonrasında din alanında iki yönlü bir politika izlediğini göstermektedir. Devlet bir taraftan İslâmî kimliğin kamusal görünürlüğünü ve tarihsel dinî mirası desteklerken, diğer taraftan devlet denetimi dışındaki bazı dinî yapılanmaları güvenlik tehdidi olarak değerlendirmiş ve bu yapılara yönelik sıkı denetim ve güvenlik tedbirleri uygulamıştır (Çalışkan, 2023, s. 92). Dolayısıyla Özbekistan'ın din politikası, İslâm'ın kamusal hayattaki varlığını bütünüyle sınırlandırmaya değil, dinî alanı devlet denetiminde düzenlemeye dayanmıştır. Bu çerçevenin dışında kalan bazı dinî faaliyetler ise güvenlik politikalarının konusu hâline gelmiştir.

Sonuç olarak Özbekistan'ın ÖİH'ye karşı geliştirdiği güvenlik politikaları askerî ve polisiye tedbirlerle sınırlı kalmamıştır. Sınır güvenliği, istihbarat faaliyetleri, radikal örgütlerle mücadele, dinî alanın devlet denetiminde düzenlenmesi ve resmî dinî kurumların desteklenmesi bu politikaların temel unsurlarını oluşturmuştur (Öğretici, 2024, s. 75-76). Bununla birlikte söz konusu politikaların uygulanma biçimi, özellikle şiddet eylemleriyle bağlantısı bulunmayan bazı dinî çevrelerin de güvenlik tedbirlerinin kapsamına alınması nedeniyle uluslararası alanda insan hakları ve din özgürlüğü açısından eleştirilmiştir. Böylece radikal örgütlerle mücadele ile din ve düşünce özgürlüğünün sınırları, Özbekistan'ın din ve güvenlik politikalarının temel tartışma alanlarından biri olmuştur.

4. Mirziyoyev Döneminde Din ve Güvenlik Politikaları

İslâm Kerimov'un yaklaşık yirmi beş yıl süren cumhurbaşkanlığının ardından, 2016 yılında Şevket Mirziyoyev'in göreve gelmesiyle Özbekistan'ın iç ve dış politikalarında çeşitli değişiklikler yapılmıştır (Budulgan, 2020, s. 177-178). Mirziyoyev yönetimi ekonomik reformlara, bölgesel iş birliğine ve dış ilişkilerin geliştirilmesine ağırlık vermiştir. Bu dönemde komşu Orta Asya devletleriyle ilişkiler geliştirilmiş, yabancı yatırımları teşvik etmeye yönelik düzenlemeler yapılmış ve uluslararası iş birliği artırılmıştır (Kanat-Kılınç, 2024, s. 52-55).

Mirziyoyev döneminde din-devlet ilişkilerinde de önceki döneme kıyasla bazı kısıtlamalar gevşetilmiş ve yeni düzenlemeler yapılmıştır (Çalışkan, 2012, s. 97-98). Güvenlik izleme listelerinden binlerce kişinin çıkarılması, ibadet üzerindeki bazı kısıtlamaların gevşetilmesi, Kur'an ve Arapça eğitimine yönelik belirli kurslara izin verilmesi ve hac imkânlarının genişletilmesi bu dönemde atılan adımlar arasındadır (Öğretici, 2024, s. 70-71).

Mirziyoyev döneminde çatışma bölgelerindeki Özbekistan vatandaşlarının, özellikle kadın ve çocukların ülkeye geri getirilmesi amacıyla "Mehr" operasyonları başlatılmıştır. Bu operasyonlarla Suriye, Irak ve Afganistan'daki kadın ve çocuklar ülkeye getirilmiştir. Geri dönenlere tıbbî, psikolojik ve sosyal destek sağlanarak topluma yeniden uyum sağlamaları amaçlanmıştır (Cafer, 2023, s. 24). 2019 yılından itibaren gerçekleştirilen Mehr-1, Mehr-2, Mehr-3 ve Mehr-4 operasyonları kapsamında 438 kadın ve çocuk Özbekistan'a geri getirilmiştir. 2021 yılında gerçekleştirilen Mehr-5 operasyonuyla da 24 kadın ve 69 çocuktan oluşan 93 kişi ülkeye dönmüştür (Tolipov, 2023, s. 18). Bu uygulamalar, radikalizmle mücadelede güvenlik tedbirlerinin yanı sıra rehabilitasyon ve topluma yeniden uyum politikalarının da uygulandığını göstermektedir.

Ekonomik alanda gerçekleştirilen reformlar da daha önce radikalleşmeyle ilişkilendirilen işsizlik, yoksulluk ve ekonomik kırılganlık gibi yapısal sorunlar bakımından önem taşımaktadır. İstihdamın artırılmasına yönelik programlar, genç işsizliğini azaltmayı hedefleyen politikalar ve ekonomik yapının çeşitlendirilmesine yönelik reformlar, Mirziyoyev döneminin sosyo-ekonomik politikaları arasında yer almıştır (Kavukcu, 2021, s. 96). Bu politikaların radikalleşme üzerindeki doğrudan etkisini belirlemek güçtür. Ancak bu uygulamalar,

çalışmanın önceki bölümlerinde radikalleşmeyle ilişkilendirilen sosyo-ekonomik sorunların azaltılmasını amaçlayan politikalar arasında yer almaktadır.

Sonuç olarak Mirziyoyev döneminde, Özbekistan'ın radikalizmle mücadele yaklaşımında önceki döneme kıyasla bazı değişiklikler yaşanmıştır. Güvenlik ve din alanındaki devlet denetimi devam ederken ekonomik reformlar, dinî alandaki bazı kısıtlamaların gevşetilmesi ve rehabilitasyon uygulamaları öne çıkmıştır. Böylece güvenlik tedbirleri, sosyo-ekonomik ve rehabilitasyona yönelik uygulamalarla birlikte yürütülmüştür.

Sonuç

Bu çalışma, bağımsızlık sonrası Özbekistan'da radikalleşme olgusunu Fergana Vadisi ve Özbekistan İslâmi Hareketi (ÖİH) örneği üzerinden dinî, siyasal, ekonomik ve toplumsal faktörlerin etkileşimi çerçevesinde incelemiştir. Araştırma bulguları, ÖİH'nin ortaya çıkışının yalnızca dinî ideolojiyle açıklanamayacağını göstermektedir. Sovyetler Birliği'nin dağılmasının ardından yaşanan siyasal dönüşüm, ekonomik kırılganlık, dinî alandaki kurumsal boşluk, Fergana Vadisi'nin kendine özgü sosyo-politik koşulları ve uluslararası bağlantılar, hareketin oluşumunu etkileyen başlıca faktörler arasında yer almaktadır. Bu nedenle ÖİH'nin ortaya çıkışı, bu siyasal, ekonomik, toplumsal ve dinî koşulların uluslararası bağlantılarla birlikte etkili olduğu bir süreç olarak değerlendirilmelidir.

Araştırmada ulaşılan bir diğer sonuç, Fergana Vadisi'nde radikalleşmeyle ilişkilendirilen çeşitli yapısal sorunların bir arada bulunmasıdır. Yüksek nüfus yoğunluğu, ekonomik sorunlar, etnik çeşitlilik, sınır anlaşmazlıkları, komşu ülkelerdeki çatışmalar ve devlet otoritesinin sınırlı kaldığı alanlar, radikal örgütlerin faaliyet göstermesini kolaylaştıran koşullar oluşturmuştur. ÖİH de bu yerel ortamda ortaya çıkmış, zamanla Taliban ve El-Kaide ile ilişkiler kurarak faaliyetlerini Orta Asya dışına taşımıştır. Bu dönüşüm, Fergana Vadisi'ndeki yapısal sorunlar ile örgütün uluslararası bağlantılarının ÖİH'nin gelişiminde birlikte etkili olduğunu göstermektedir.

Çalışma ayrıca, Özbekistan yönetiminin radikalizmle mücadele politikalarının zaman içerisinde değiştiğini ortaya koymaktadır. Mirziyoyev döneminde ekonomik reformlar, dinî alandaki bazı kısıtlamaların gevşetilmesi ve rehabilitasyon uygulamaları da öne çıkmıştır. Özellikle Mehr operasyonlarında, çatışma bölgelerinden geri getirilen kadın ve çocukların rehabilitasyonu ve topluma yeniden uyumu amaçlanmıştır.

İslâm Mezhepleri Tarihi açısından araştırmanın ulaştığı önemli sonuçlardan biri, ÖİH'nin ideolojik yapısının Selefîliğin bütünüyle özdeş görülmemesi gerektiğidir. Örgütün mevcut siyasal düzenin meşruiyetini reddetmesi, silahlı cihadı bir mücadele yöntemi olarak benimsemesi ve İslâmî esaslara dayalı bir siyasal düzen kurmayı hedeflemesi, ideolojik söyleminde Selefî-cihadî eğilimlerin belirginleştiğini göstermektedir. Bu yönelim, Fergana Vadisi'nde tarihsel olarak hâkim olan Hanefî-Mâtürîdî din anlayışından farklılaşan bir dinî-siyasî söylem ortaya koymaktadır. Bununla birlikte ÖİH'nin ideolojik yapısı yalnızca bu farklılaşma üzerinden değil, yerel siyasal ve toplumsal koşullar ile örgütün Taliban ve El-Kaide gibi yapılarla kurduğu ilişkiler çerçevesinde ele alınmalıdır.

ÖİH'nin günümüzdeki örgütsel kapasitesi, dijital propaganda faaliyetleri, Orta Asya'da ortaya çıkan yeni radikal yapılarla ilişkileri ve Mirziyoyev dönemindeki reformların uzun vadeli toplumsal etkileri bu çalışmanın kapsamı dışında kalmaktadır. Bu konuların güncel saha verileri ve karşılaştırmalı çalışmalarla incelenmesi, Orta Asya'daki radikalleşmenin geçirdiği değişimlerin daha iyi anlaşılmasına imkân sağlayacaktır.

Kaynakça

Ağır, O- Arpacı, I. (2019). "Soğuk Savaş Sonrası Dönemde Orta Asya'da Dini Radikalizmin Nedenleri Üzerine". *Journal of Turkish Studies* 14/3, 1023-1044. https://doi.org/10.29228/TurkishStudies.22761

Akçalı, P. (2002). "Orta Asya Türk Cumhuriyetlerinin Bağımsızlık Dönemi Temel Sorunlarına Genel Bir Bakış". *Bağımsızlıklarının 10. Yılında Türk Cumhuriyetleri*, 17-33.

Aktaş, A. (2021). "Hizb-ut Tahrir Yapılanması Üzerine Karşılaştırmalı Bir Analiz: Özbekistan ve Türkiye Örneği". *Harran İlahiyat Dergisi* 45/76-97. https://doi.org/10.30623/hij.952974

Asl, S. S. (2022). "Suudi Arabistan'ın Kafkasya ve Orta Asya'da Vahhabilik Politikası". *Asya Araştırmaları Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi* VI/1 (2022), 113-131.

Avcı, E. (25 Temmuz 2024). "İslam'ın Özbek Kimliği Üzerinde Etkisi". *TESAM Akademi Dergisi* 11/2, 517-555.
https://doi.org/10.30626/tesamakademi.1522297

Barış, A. B. (30 Haziran 2026). "Emir bi'l-Ma'rûf İlkesinin Neo-Selefî Yorumu ve Tekfirci Söylemle İlişkisi". *Eskiyeni* 62/793-819. https://doi.org/10.37697/eskiyeni.1801907

Bedirhan, Y. (15 Aralık 2011). "Değişen Orta Asya Ve Kafkaslarda Radikal Unsurların Yükselişi". *Erzincan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* 4/2, 439-456.

Biçakci, S. (2008). "Andijon'da Nıma Bo'ldı? Özbekistan'da Terör, Güvenlik Ve Demokrasi". *Uluslararası Stratejik Araştırmalar Kurumu* 3/6, 1-22.

Biçer, R. (2014). "Dini Temalı Radikalizm ve Türk Cumhuriyetleri". *Kelam Araştırmaları Dergisi [Kader]* XII/1, 1-11.

Budulgan, S. A. (30 Aralık 2020). "Özbekistan'ın Jeopolitik Önemi". *Asya Araştırmaları Uluslararası Sosyal Bilimler Dergisi* 4/2, 167-184.

Büyükkara, M. A. (2016). *Çağdaş İslâmî Akımlar*. İstanbul: Klasik Yayınları, 3. Basım.

Büyükkara, M. A. (2012). "Dışlamacı Müslümanlığın Orta Asya'daki İzdüşümleri: Selefilik Hareketi ve Taliban". *Orta Asya'da İslâm -Temsilden Fobiye-* III/1287-1316.

Byerdımurat, D. (2021). *Orta Asya Devletlerinde Din, Devlet ve Toplum İlişkileri (Kazakistan, Kırgızistan ve Özbekistan Örneği)*. Samsun: Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Doktora Tezi.

Cafer, B. (31 Ocak 2023). "Radikal Terörün Özbekistan'ın Güvenlik Algılamalarına Etkisi: Dünyada Ve Suriyede Özbek Yabancı Savaşçılar". *Uluslararası Afro-Avrasya Araştırmaları Dergisi* 8/15, 15-28.

Çalışkan, B. (2023). "Özbekistan'da Çağdaş Müslüman Düşüncesi". *Müslüman Dünyada Çağdaş Düşünce: Türk Dünyasında Çağdaş Müslüman Düşüncesi* IX/73-103.

Çalışkan, İ. (2012). "Orta Asya'da Üç İslâm Anlayışı". *Orta Asya'da İslâm -Temsilden Fobiye-* I/371-389.

Çaman, E. - Dağcı, K. (2014). "Özbekistan'da İslam, Siyasi Sistem ve Radikalizm". *Yalova Sosyal Bilimler Dergisi* V/8, 8-22.

Demir Er, P. (2020). *Bağımsızlık Sonrası Özbekistan'da İslâm*. Ankara: Ankara Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Demirci, L. (01 Haziran 2012). "Özbekistan, Kırgızistan ve Tacikistan'ın Kesişimindeki Sorunlu Vadi: Fergana". *Savunma Bilimleri Dergisi* 11/2, 33-69. https://doi.org/10.17134/sbd.15568

Erşahin, S. (1997). "Bağımsızlık Sonrasında Türkistan Cumhuriyetlerinde Dini Yapılanma". *Türk Dünyasının Dini Meseleleri*, 25-58.

Kanat, S. - Kılınç, S. (26 Ekim 2024). "Sovyetler Birliği Sonrası Sınır Sorunları ve Çözüm Arayışları: Özbekistan Örneği". *İmgelem* Özbekistan Özel Sayısı, 37-66. https://doi.org/10.53791/imgelem.1510734

Kavukcu, N. (29 Haziran 2021). "Radikal Dini Hareketlerin Orta Asya'daki Yansıması: Özbekistan Örneği". *Diplomasi ve Strateji Dergisi* 2/1, 79-101.
Khalid, Adeeb. *Komünizmden Sonra İslam Orta Asya'da Din ve Politika*. çev. Aslıhan Tekyıldız. Ankara: Sitare Yayınları, 1. Basım, 2011.
Kocaoğlu, C. (2017). "Selefiliğe Tarihsel Bir Bakış ve Suudi Arabistan'ın Selefilik Üzerine Geliştirdiği Politikayı Yayma Stratejisi". *Bitlis Eren Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi* VI/2, 333-353.
Köstem, S. (14 Temmuz 2016). "Orta Asya Ve Kafkaslarda Militan İslam: El Kaide Etkisi". *Ortadoğu Etütleri* 2/1, 181-204.
Musahan, A. Y. (2022). "Orta Asya Örneğinde Radikal Dini Örgütlerin Medya Faaliyetleri, Etkileri ve Sonuçları". *Disiplinlerarası Sosyal Bilimler Dergisi* 12/1-25.
Naumkin, V. V. (2003). "Militant Islam in Central Asia: The Case of the Islamic Movement of Uzbekistan". *Berkeley: University of California, Berkeley Program in Soviet and Post-Soviet Studies Working Paper Series*, 1-71.
Olcott, M. B. (2007). "The Roots Of Radıcal Islam In Central Asıa". *Washington, DC: Carnegie Endowment for International Peace*.
Öğretici, B. (2024). *Bağımsızlık Sonrası Özbekistan'da Dini Radikalizm ve Kamuoyuna Yansıyan Tartışmalar: Andican Olayları Örneği*. İstanbul: Marmara Üniversitesi, Ortadoğu ve İslam Ülkeleri Araştırmaları Enstitüsü, Doktora Tezi.
Pulat, E. (2019). *Soğuk Savaş Sonrası Dönemde Orta Asya'da İslam'ın Siyasallaşması: Özbekistan Örneği*. Bursa: Bursa Uludağ Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
Şahin, H. (2022). "Dini-Politik Bir Hareket Olarak Teşekkür Sürecinden Günümüze Vehhâbîlik". *Kocatepe İslami İlimler Dergisi* V/2, 617-636.
Tolipov, F. (2023). "Orta Asya'da İslami Canlanma ve Siyasi Uyanış". *Müslüman Dünyada Çağdaş Düşünce: Türk Dünyasında Çağdaş Müslüman Düşüncesi* IX/1-23.
Yaşa, İ. (2016). *Selefî Teolojinin Suudi Arabistan Politikalarına Göre Değişimi*. İstanbul: İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, Doktora Tezi.
Yılmaz, S. (2024). "Akıl Tutulmasının Ehl-i Kıble Arasındaki İzdüşümü: Ehl-i Hadis'ten DAİŞ'e Selefî Zihniyet". *Kadîm Kelâm'dan Hâdis Kelâm'a: Kelam Atölyesi Çevrimiçi Seminerleri*, 9-34.

ANATOMY OF THE TRACHEA IN MALAKLI DOGS

Prof. Dr. Zekeriya ÖZÜDOĞRU
Balıkesir University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Anatomy
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-0789-3628
Res. Assist. Muhammet Alperen FİDAN
Aksaray University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Anatomy
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-8408-3613

ABSTRACT

Introduction and Purpose: In this study, it was aimed to reveal the anatomical structure of the trachea of the Aksaray Malaklı (Anatolian Mastiff) dog.

Materials and Methods: For this purpose, a total of 2 adult Malaklı dogs were used. The head, neck, and thoracic regions of the specimens were dissected, and the trachea was removed. Subsequently, the total length of the trachea (the distance between the cricoid cartilage and the bifurcation of the trachea) was measured. The trachea was then divided equally into 3 segments (cranial, middle, and caudal), and the first cartilage of each segment was measured according to its vertical and transverse diameters.

Results: It was determined that the trachea in the Malaklı dog is a tubular organ, approximately 30.5–33.5 cm in length, extending from the cricoid cartilage of the larynx to the bronchi, and composed of approximately 45–50 C-shaped cartilages. It was found that the open ends of the cartilages were closed by the m. trachealis, and that the cartilages were connected to each other by a ligament called the ligamentum anulare. The trachea initially courses along the midline in the visceral region of the neck and later runs slightly to the right of the midline. It enters the cavum thoracis through the apertura thoracis cranialis and terminates at the bifurcatio tracheae above the heart, dividing into the right and left principal bronchi (broncus principalis dexter and sinister). In the present study, the transverse internal diameter of the cranial tracheal cartilage was measured as 29.06 and 30.83 mm, and the vertical internal diameter as 22.97 and 24.15 mm, in the first and second Malaklı dogs, respectively. The transverse internal diameter of the middle tracheal cartilage was 31.08 and 31.21 mm, and the vertical internal diameter was 23.58 and 25.75 mm. The transverse internal diameter of the caudal tracheal cartilage was 23.33 and 25.73 mm, and the vertical internal diameter was 22.15 and 24.54 mm.

Discussion and Conclusion: Although the results obtained are similar to those reported in the literature, different values may be obtained due to significant size differences among dog breeds. In this study conducted on Malaklı dogs, the structure and morphometric values of the trachea were determined. It is considered that the data obtained will contribute to the anatomical literature and veterinary medical education.

Key Words: Anatomy, Trachea, Malaklı Dog

MALAKLI KÖPEKLERİNDE TRACHEA'NIN ANATOMİSİ

ÖZET

Giriş ve Amaç: Çalışmada Aksaray Malaklı köpeğinin trachea'sının anatomik yapısının ortaya çıkarılması amaçlandı.

Materyal ve Metot: Bu amaçla toplam 2 adet yetişkin Malaklı köpeği kullanıldı. Materyallerin baş, boyun ve göğüs bölgeleri diseksiyon edilerek trachea çıkarıldı. Daha sonra trachea'nın toplam uzunluğu (krikoid kıkırdak ile trachea'nın çatallanması arasındaki mesafe) ölçüldü. Trachea eşit şekilde 3 parçaya (kranial, orta ve kaudal) ayrılarak, her bir parçanın ilk kıkırdağı

dikey ve enine çaplarına göre ölçüldü.
Bulgular: Malaklı köpeğinde trachea'nın, larynx'in cartilago cricoidea'sından başlayıp broncus'lara kadar devam eden, yaklaşık 45-50 adet C harfi şeklindeki kıkırdaktan oluşan, 30.5-33.5 cm uzunluğunda boru şeklinde bir organ olduğu tespit edildi. Kıkırdakların açık uç kısımlarını m. trachealis'in kapattığı ve kıkırdakların birbirine ligamentum anulare adı verilen ligamentle bağlandığı belirlendi. Trachea, boyunun visseral bölgesinde başlangıçta orta çizgi üzerinde, daha sonra orta çizginin biraz sağında seyretmektedir. Apertura thoracis cranialis'ten cavum thoracis'e girer ve kalbin üst kısmında bifurcatio tracheae'da, broncus principalis dexter ve sinister'e ayrılarak sonlanır. Yapılan çalışmada cartilago trachealis'in transversal iç çapı birinci ve ikinci Malaklı köpeğinde sırasıyla 29.06 ve 30.83 mm, vertikal iç çapı 22.97 ve 24.15 mm; orta cartilago trachealis'in transversal iç çapı 31.08 ve 31.21 mm, vertikal iç çapı 23.58 ve 25.75 mm; kaudal cartilago trachealis'in transversal iç çapı 23.33 ve 25.73 mm, vertikal iç çapı 22.15 ve 24.54 mm olarak ölçülmüştür.
Tartışma ve Sonuç: Elde edilen bu sonuçlar literatürle benzerlik göstermekle birlikte, köpek ırkları arasındaki büyük boyut farklılıkları nedeniyle farklı değerler elde edilebilir. Malaklı köpeklerinde yapılan bu çalışmada trachea'nın yapısı ve morfometrik değerleri belirlenmiştir. Elde edilen verilerin anatomi literatürüne ve veteriner hekimlik eğitimine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.
Anahtar Sözcükler: Anatomi, Trachea, Malaklı Köpeği

Giriş

Evliya Çelebinin "Anadolu Aslanı" olarak adlandırdığı Aksaray Malaklı köpeği kafa üzerinde siyah benek, boz tüy rengi, büyük kafatası, büyük ve sarkık ağız ve dudak yapısına sahiptir. Ayak yapısı, kalın bilekler, uzun ayaklar, geniş patiler, arka ayaklarda genellikle çift mahmuz bulunur. Bununla birlikte Aksaray Malaklı köpeklerinde çaparlık (sarı üzerinde siyah kaplan deseni) ve alalık da (beyaz üzerinde kahverengimsi benekler) görülebilmektedir (Atasoy ve ark. 2014). Sakin ve uysal bir karaktere sahiptir. Sürüleri korumak için kullanılabilir. Atasoy ve ark. (2014) yaptıkları bir çalışmada sırasıyla dişi ve erkeklerde; cidago yüksekliği 72.98±0.49, 78.36±0.31; sağrı yüksekliği 72.87±0.53, 78.65±0.34; beden uzunluğu 79.02±0.62, 82.68±0.60 ve canlı ağırlığı 53.20±1.01 ve 62.29±0.68 olarak ölçmüşlerdir.
Köpeklerde trachea (soluk burusu), larynx'in cartilago cricoidea'sından başlayıp broncus'lara kadar devam eden yaklaşık 35 adet C harfi şeklindeki kıkırdaklardan oluşan boru şeklinde bir organdır. Kıkırdakların açık olan uç kısımlarını m. trachealis kapatır. Bu kas etçillerde halkanın uçları üzerinde, diğer hayvanlarda ise altında yer alır. Kıkırdaklar biribirine ligamuntum anulare denen ligamentle bağlanmıştır (Evans ve Christensen, 1979; Nickel ve ark. 1979).
Trachea, boyunun visseral bölgesinde balangıçta orta çizgi üzerinde daha sonra orta çizginin biraz sağında seyreder. Apertura thoracis cranialis'ten cavum thoracis'e girer ve kalbin üst kısmında bifurcatio trachea'da, broncus principalis dexter ve sinister'e ayrılarak sonlanır. Trachea seyrettiği bölgeye göre iki kısımdan oluşur. Boyun bölgesindeki kısma pars cervicalis, göğüs bölgesindeki kısmına ise pars thoracalis adı verilir.
Carnivorlarda, trachea boynun uzunluğu boyunca üstte esophagus, altta m. sternohyoidesus ve m. sternothyroideus, yan tarafta a. carotis communis ile truncus vagosympathicus, n. laryngeus recurrens ve v. jugularis interna ile komşuluk yapar (Dursun, 2008).
Trachea'nın hem fonksiyonel hem de anatomik çalışmaları birçok hayvan üzerinde yapılmıştır (Düzler ve ark., 2005; Perez ve ark., 2006; Cano ve Perez, 2009; Wysocki ve ark., 2010; Pinheiro ve ark., 2012; Al-Zhgoul ve ark., 2013). Yapılan literatür araştırmalarında Malaklı köpeğinin trachea'sı hakkında herhangi bir morfolojik çalışmaya rastlanılmamıştır. Bu çalışmada malaklı köpeğinin trachea'sına ait anatomik yapıların belirlenmesi ve morfometrik

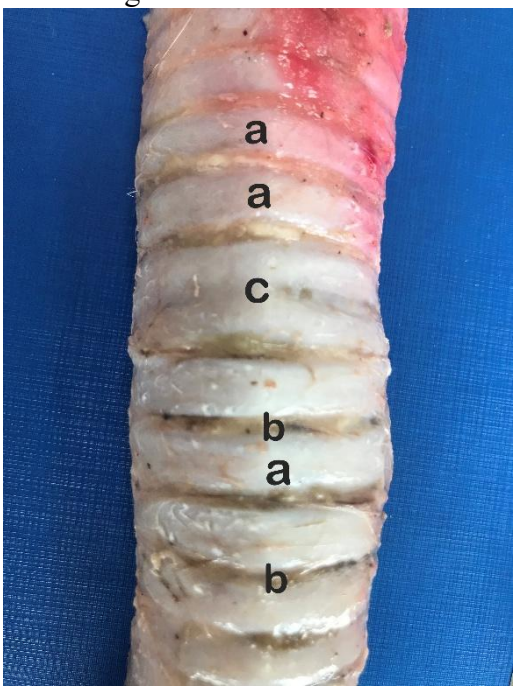
olarak değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Materyal metot

Çalışmada toplam 2 adet yetişkin malaklı köpeği kullanılmıştır.
Materyallerin baş, boyun ve göğüs bölgeleri diseksiyon edilerek gırtlak ve trakea çıkarılmıştır. Gırtlak kasları diseksiyon edilerek kıkırdak yapılar ayrı ayrı elde edilmiştir.
Daha sonra trakeanın toplam uzunluğu (krikoid kıkırdak ile trakeanın çatallanması arasındaki mesafe) belirlendi ve 3 parçaya ayrıldı; her parça 1/3 oranında (kraniyal, orta ve kaudal olarak). 3 parçanın her birinin ilk kıkırdağı dikey ve enine çaplara göre ölçülerek çalışmada sunuldu.
Anatomik terminolojide temel olarak Nomina Anatomica Veterinaria (NAV 2012) kullanıldı.

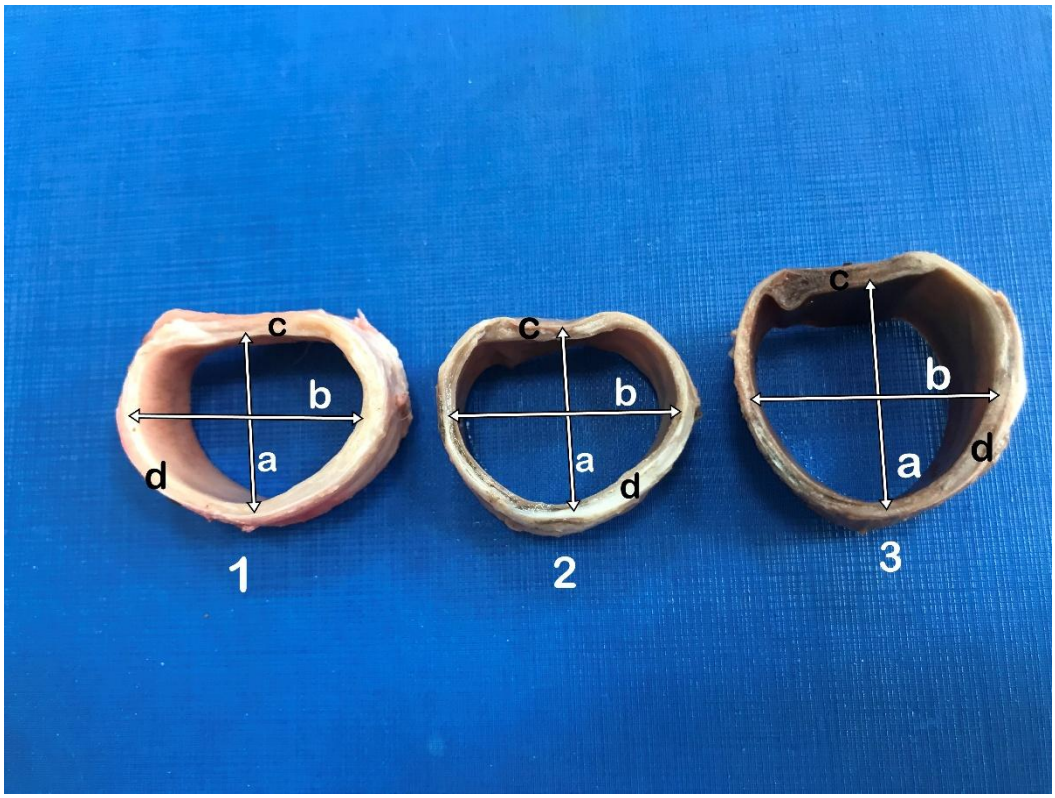
Bulgular

Malaklı köpeğinde trachea, larynx'in cartilago cricoidea'sından başlayıp broncus'lara kadar devam eden yaklaşık 45-50 arasında değişen C harfi şeklindeki kıkırdaklardan oluşan 30.5-33.5 cm uzunluğunda boru şeklinde bir organdır.



Şekil 1. Trachea'nın anatomik yapısı
cartilago trachealis, b. ligamuntum anulare c. iki kıkırdağın birbiriyle kısmi olarak kaynaşması

Kıkırdakların açık olan uç kısımlarını m. trachealis kapatır. Bu kas halkanın uçları üzerinde yer alır. Kıkırdaklar biribirine ligamuntum anulare denen ligamentle bağlanmıştır. Bazı kıkırdakların birbiri ile kısmi bir şekilde kaynaştığı görülmüştür.
Trachea, boyunun visseral bölgesinde balangıçta orta çizgi üzerinde daha sonra orta çizginin biraz sağında seyreder. Apertura thoracis cranialis'ten cavum thoracis'e girer ve kalbin üst kısmında bifurcatio trachea'da, broncus principalis dexter ve sinister'e ayrılarak sonlanır.



Şekil 2. Trachea'nın çapları

1. cranial birinci kıkırdak, 2. ortadaki ilk kıkırdak, 3. caudaldeki ilk kıkırdak, a. vertikal (dikey) çap, b. transversal (enine) çap, c. musculus trachealis, d. cartilago trachealis.

Sunulan bu çalışmada trachea cranial, orta ve caudal olarak 3 parçaya ayrıldı ve bu parçaların ilk kıkırdağı vertikal (dikey) ve transversal (enine) çaplara göre ölçüldü ve ölçümler Tablo 1 de sunuldu.

Tablo 1: Malaklı köpeğinin trachea'sına ait morfometrik ölçümler

Ölçümler	**1. materyal**	**2. materyal**
1.Cartilago trachealis'in transversal çapı (dış)	33,73	35.89
1.Cartilago trachealis'in transversal çapı (iç)	29.06	30.83
1.Cartilago trachealis'in vertical çapı (dış)	29.02	30.01
1.Cartilago trachealis'in vertical çapı (iç)	22.97	24.15
Orta cartilago trachealis'in transversal çapı (dış)	31.08	31.21
Orta cartilago trachealis'in transversal çapı (iç)	27.90	25.77
Orta cartilago trachealis'in vertical çapı (dış)	25.78	28.18
Orta cartilago trachealis'in vertical çapı (iç)	23.58	25.75
Caudal cartilago trachealis'in transversal çapı(dış)	25.23	29.90
Caudal cartilago trachealis'in transversal çapı(iç)	23.33	25.73

Caudal cartilago trachealis'in vertical çapı(dış)	27.42	29.77
Caudal cartilago trachealis'in vertical çapı(iç)	22.15	24.54

Tartışma

Evans ve Christensen (1979) trachea'nın köpeklerde yaklaşık 35 adet C şeklinde kıkırdaktan oluştuğunu rapor etmiştir.

Halıgür ve Özkadif (2021) tilkilerde trakea halkalarının 42-48, köpeklerde Dabanoğlu ve ark., (2001) 36-45; König ve Liebich (2015) 42-46, Kırbaş Doğan ve ark. (2023) vaşakta 48 halkadan oluştuğu bildirmişlerdir. Yapılan çalışmada kullanılan iki malaklı köpeğinin birinde 45 diğerinde 50 halkadan oluştuğu tespit edilmiştir.

Trakea halkalarının sayısı köpeklerde 42-46

Tracheanın uzunluğu ile ilgili olarak Haligür ve Özkadif (2021), erkek tilkilerde trakea uzunluğunu 15.4 cm, dişi tilkilerde ise 13.7 cm, Kırbaş Doğan ve ark. (2023) vaşakta 17.2 cm olarak ölçmüşlerdir. Yapılan çalışmada trachea'nın uzunluğu kullanılan iki malaklı köpeğinin birinde 30,5 cm diğerinde 33.5 cm olarak tespit edilmiştir.

Haligür ve Özkadif (2021), erkek tilkilerde trakea kıkırdağının çapını 13,37±0,38 mm, dişi tilkilerde ise 12,28±0,23 mm olarak ölçmüşlerdir. Bu çalışmada, dişi vaşakta trakea halkasının genişliği başlangıçta 12,40 mm, ortada 9,98 mm ve son kısımda 9,23 mm olarak ölçülmüştür.

Dabanoğlu ve ark., (2001) Alman çoban köpeğinde trachea'nın vertical çapının cranial cervicalde 20.83, caudal cervical de 19.43, thoracalde 17.77 mm, transversal çapın ise cranial cervicalde 22.01, caudal cervicalde 19.98, thoracalde 17.25mm olarak ölçmüşlerdir.

Atalar ve ark. (2018), kangal köpeğinde yaptığı bir çalışmada trachea'nın vertical çapının cranial cervicalde 22.19, caudal cervical de 20.96 mm, cranial thoracalde 26.04, caudal thoracal'de 25.56 mm, transversal çapın ise cranial cervicalde 28.20, caudal cervicalde 27.82, cranial thoracalde 28.83, caudal thoracal'de35.30mm olarak ölçmüşlerdir.

Yapılan çalışmada birinci cartilago trachealis'in transversal iç çapı birinci ve ikinci malaklı köpeğinde sırasıyla 29.06 ve 30.83, vertical iç çapı 22.97 ve 24.15, orta cartilago trachealis'in transversal iç çapı 31.08 ve 31.21, orta cartilago trachealis'in vertical iç çapı 23.58 ve 25.75, caudal cartilago trachealis'in transversal iç çapı 23.33 ve 25.73, caudal cartilago trachealis'in vertical iç çapı 22.15 ve 24.54 olarak ölçülmüştür.

İlk cartilago trachealis'in transversal dış çapı birinci ve ikinci malaklı köpeğinde sırasıyla 33.73 ve 35.89, vertical dış çapı 29.02 ve 30.01, orta cartilago trachealis'in transversal dış çapı 31.08 ve 31.21, orta cartilago trachealis'in vertical dış çapı 25.78 ve 28.18, caudal cartilago trachealis'in transversal dış çapı 25.23 ve 29.90, caudal cartilago trachealis'in vertical dış çapı 27.42 ve 29.77 olarak ölçülmüştür.

Atalar ve ark. (2018), kangal köpeğinde yaptığı bir çalışmada trachea'nın başlangıç ve bitiş kısımlarında çapların arttığını ve transversal çapların bütün ölçüm noktalarında vertical çaplardan daha yüksek değerlerde olduğunu tespit etmişlerdir.

Yapılan çalışmada kangal köpeğindekine benzer olarak transversal çapların bütün ölçüm noktalarında vertical çaplardan daha yüksek değerlerde olduğu, ayrıca başlangıçtan sona doğru transversal çap azalırken vertical çapın arttığı gözlenmiştir. Ayrıca caudal kısımda transversal çap ile vertical çap arasındaki uzunlukların birbirine yakın olmasından dolayı cranilde yer alan cartilago trachealis'lere göre daha yuvarlak bir görünüme sahip olduğu tespit edilmiştir.

Sonuç olarak; elde edilen sonuçların literatürlere benzer olmakla birlikte köpek ırkları

arasındaki belirgin vücut büyüklüğü farklılıkları nedeniyle farklı değerler elde edilebilir. Malaklı köpeklerinde yapılan bu çalışmada trachea'nın yapısı ve morfometrik değerleri belirlenmiştir. Elde edilen verilerin anatomi literatürüne ve veteriner hekimlik eğitimine katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

Atasoy F, Erdoğan M, Özarslan B, Yüceer B, Kocakaya A, Akçapınar H. Malaklı Karabaş köpeklerde bazı morfolojik ve genetik özellikler. *Ankara Univ Vet Fak Derg*. 2014;61(2):125-132.

Al-Zhgoul MB, Dalad AHS, Abdulhakeem A, Ismail ZB, Thanain AT. Arabian oryx (*Oryx leucoryx*) trachea: a descriptive and morphometric analysis. Int J Morphol. 2013; 31(3):813-818.

Cano I, Perez W. Quantitative anatomy of the trachea of the giraffe (*Giraffa camelopardalis rothschildi*). Int J Morphol. 2009;27(3):905-908.

Dabanoğlu I, Öcal MK, Kara ME. A quantitavie study on the trachea of the dog. Anat Histol Embryol. 2001;30(1):57-59.

Doğan, G. K., Aras, Ş., & Sarı, E. K. Macro Anatomical and Histological Study of Larynx Cartilage, Trachea, and Lungs in Lynx (Lynx lynx). *Van Veterinary Journal*. 2023; *34*(2), 126-132.

Dursun N. 2008. Veteriner anatomi II. Medisan Yayınevi. p. 102-116.

Düzler A, Nur IH, Çirli Ş. Ceylanda larynx kıkırdakları ve trachea üzerinde makro-anatomik bir araştırma. Erciyes Üniv Vet Fak Derg. 2005;2(1):23-28.

Evans, H. E., and G. C. Christensen, 1979: Miller's Anatomy of the Dog. Philadelphia, London & Toronto: W. B. Saunders Co., p. 526.

Halıgür A, Özkadif S. Kızıl tilki (*Vulpes vulpes*)'de larynx kıkırdak'larının ve trachea'nın morfolojik çalışması. *MAE Vet Fak Derg*, 2021; 6 (3), 109- 114.

König HE, Liebich HG (2015). Veteriner Anatomi (Evcil Memeli Hayvanlar), 6th ed., Medipres, Germany.

N.A.V. (2017). International Committee on Veterinary Gross Anatomical Nomenclature. Nomina Anatomica Veterinaria (NAV). 6th ed. World Association of Veterinary Anatomists, Hanover (Germany), Ghent (Belgium), Columbia, MO (U.S.A.), Rio de Janeiro (Brazil).

Nickel, R., A. Schummer, and E. Seiferle, 1979: The Viscera of the Domestic Animals. Berlin & Hamburg: Verlag Paul Parey, p. 251

Perez W, Lima M, Cunarro B. Larynx anatomy in a tiger (*Panther tigris*, Linnaeus, 1758). J Anim Vet Adv. 2006;5(12):1093-1095.

Pinheiro L, Lima AR, Muniz APC, Imbeloni A, Fioreto ET, Fontes RF, et al. Anatomy and morphometric aspects of the trachea of *Saimiri sciureus* Linnaeus, 1758: knowledge for emergency procedures. An Acad Bras Cien. 2012;84(4):973-977.

Wysocki J, Kielska E, Janiuk I, Charuta A. Analysis of larynx measurements and proportions in young and adult domestic pigs (*Sus scropha domestica*). Turk J Vet Anim Sci. 2010;34(4): 339-347.

ANATOMICAL STRUCTURE OF THE LARYNX IN AKSARAY MALAKLI DOGS

Prof. Dr. Zekeriya ÖZÜDOĞRU
Balıkesir University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Anatomy
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-0789-3628
Res. Assist. Muhammet Alperen FİDAN
Aksaray University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Anatomy
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-8408-3613
Prof. Dr. Ramazan İLGÜN
Aksaray University, Faculty of Veterinary Medicine, Department of Anatomy
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-0150-3008

ABSTRACT

Introduction and Purpose:
This study aimed to reveal the anatomical structure of the larynx of the Aksaray Malaklı (Anatolian Mastiff) dog.

Materials and Methods:
For this purpose, a total of 2 adult Malaklı dogs were used. The head, neck, and thoracic regions of the specimens were dissected, and the larynx and trachea were removed. The laryngeal muscles were also dissected separately, and the cartilaginous structures were obtained individually.

Results:
The larynx is a tubular organ composed of muscle and cartilage tissue, located behind the oral cavity, between the pharynx and the trachea. It consists of three unpaired cartilages (cartilago thyroidea, cartilago epiglottica, cartilago cricoidea) and one paired cartilage (cartilago arytenoidea). The cartilago thyroidea, the largest of the laryngeal cartilages, is shield-shaped and formed by the ventral and midline fusion of two laminae (lamina dextra and sinistra). At this fusion point, a shallow protrusion known as the prominentia laryngea—also known in humans as the "Adam's apple"—is located. The cartilago cricoidea is a ring-shaped cartilage. The arch portion of the ring is called the arcus cartilaginis cricoideae, while the upper portion is called the lamina cartilaginis cricoideae. On the dorsal aspect of the cartilago arytenoidea, the processus corniculatus is located, while the processus vocalis extends transversally on the caudo-ventral aspect. The processus muscularis is a relatively thick, rounded protrusion located directly lateral to the articular surface. The processus cuneiformis is located at the most cranial part of the arytenoid cartilage and is triangular in shape. The epiglottic cartilage (cartilago epiglottica) forms the base of the epiglottis. The epiglottis resembles a pointed shovel. The cavum laryngis is a cavity extending from the entrance of the larynx to the caudal border of the cartilago cricoidea and consists of three parts: vestibulum laryngis, ventriculus laryngis, and cavum infraglotticum.

Discussion and Conclusion:
As a result, in this study conducted on Malaklı dogs, the structure and morphometric values of the larynx were determined.

Key Words: Anatomy, Larynx, Malaklı Dog

AKSARAY MALAKLI KÖPEKLERİNDE LARYNX'İN ANATOMİK YAPISI

ÖZET

Giriş ve Amaç:

Çalışmada Aksaray Malaklı köpeğinin larynx'inin anatomik yapısının makroanatomik olarak incelenmesi amaçlanmıştır.

Materyal ve Metot:

Bu amaçla toplam 2 adet yetişkin Malaklı köpeği kullanılmıştır. Materyallerin baş, boyun ve göğüs bölgeleri diseke edilerek gırtlak ve trachea çıkarılmıştır. Gırtlak kasları da ayrıca diseke edilerek kıkırdak yapılar ayrı ayrı elde edilmiştir.

Bulgular:

Larynx, ağız boşluğunun gerisinde, pharynx (yutak) ve trachea (soluk borusu) arasında bulunan, kas ve kıkırdak dokudan oluşmuş tüp şeklinde bir organdır. Üç tek kıkırdaktan (cartilago thyroidea, cartilago epiglottica, cartilago cricoidea) ve bir çift kıkırdaktan (cartilago arytenoidea) oluşmaktadır. Larynx kıkırdaklarının en büyüğü olan cartilago thyroidea, kalkan şeklinde olup iki laminanın (lamina dextra ve sinistra) ventralde ve orta çizgi üzerinde birleşmesiyle oluşmuştur. Bu birleşme yerinde, insanlarda âdem elması olarak da bilinen sığ bir çıkıntı halinde prominentia laryngea bulunur. Cartilago cricoidea, yüzük şeklinde bir kıkırdaktır. Yüzüğün kemer kısmı arcus cartilaginis cricoideae, üstte kalan kısmı ise lamina cartilaginis cricoideae olarak isimlendirilir. Cartilago arytenoidea'nın dorsalinde processus corniculatus, kaudo-ventralinde ise transversal olarak uzanan processus vocalis şekillenir. Processus muscularis, eklem yüzeyinin doğrudan lateralinde yer alan nispeten kalın, yuvarlak bir çıkıntıdır. Processus cuneiformis, aritenoid kıkırdağın en ön kısmında bulunur ve üçgen şeklindedir. Epiglottik kıkırdak (cartilago epiglottica), epiglottisin temelini oluşturur. Epiglottis, sivri uçlu bir küreğe benzer. Cavum laryngis, larynx girişinden cartilago cricoidea'nın arka kenarına kadar uzanan bir boşluktur ve vestibulum laryngis, ventriculus laryngis ve cavum infraglotticum olmak üzere üç bölümden oluşur.

Tartışma ve Sonuç:

Sonuç olarak, Malaklı köpeklerinde yapılan bu çalışmada larynx'in yapısı ve morfometrik değerleri belirlenmiştir.

Anahtar Sözcükler: Anatomi, Larynks, Malaklı Köpeği

Giriş

Türkiye'de yerli köpek olarak on köpek ırkı olduğu bildirilmiştir ve bunlardan çoban köpeği olarak bilinen Akbaş ve Karabaş olmak üzere iki ırk mevcuttur. Aksaray ve çevresinde (Nevşehir, Şereflikoçhisar) yetiştirilen Karabaş ırkı "Aksaray Malaklısı" veya "Malaklı Karabaş" adı verilen çoban köpeğidir. Bu ırka ait köpekler özellikle sarkık dudak ve yanak yapısı nedeniyle ''Dudaklı'' anlamına gelen "Malaklı" kelimesi ile anılmaktadır. Aksaray Malaklı köpeği çoğunlukla karşılaştırıldığı Kangal köpeğine göre pençeleri daha büyük ve kalın yapıda olduğu, fakat sürü yönetiminde zayıf, soğuğa karşı dayanıksız, sarkık dudaklı yapısı nedeniyle suya salyalarının aktığı ve sürü peşinde çabuk yorgun düştükleri belirtilmektedir (Atasoy ve ark. 2011, Yılmaz ve Ertuğrul 2012, Ograk ve ark. 2018).

Yaşamı destekleyen en temel düzeneklerden biri olan solunum sistemi oksijenin vücuda alınmasını ve karbondioksitin dışarı atılmasını sağlar. Hücrelerin enerji üretimi için gerekli gaz değişimi bu mekanizma sayesinde gerçekleşir. Nefes alıp verme sırasında sadece havanın giriş çıkışını değil, aynı zamanda kan dolaşımı ile uyumlu bir gaz transferini de gerçekleştirir. Bu nedenle sistemin işleyişindeki en ufak aksama bile tüm metabolizmayı doğrudan etkileyebilir.

Solunum sisteminde burun ve ağız yardımıyla dışarıdan alınan havanın içindeki oksijen sırayla yutak, gırtlak ve soluk borusundan geçtikten sonra akciğerlere gelir.
Gırtlak, trakeanın başlangıcında yer alan kaslı ve kıkırdaklı bir organdır. Ses oluşumundan ve solunum havasının iletilmesinden sorumludur (Evans ve de Lahunta 2013). Gırtlak, etçil olmayan hayvanlarda çene kemiğine daha yakınken, etçillerde boyuna doğru kaymıştır. Farenksin burun-yutak kısmını trakea ile birleştirir. Ses oluşumundan ve solunum havasının iletilmesinden sorumludur (Bahadır ve Yıldız 2014).
Larynx ağırlığı ve boyutunun, köpeğin vücut ağırlığı ile ilişkili olduğu gösterilmiştir. Larenks ağırlığının köpeğin vücut ağırlığına oranının %0,101 ile %0,203 arasında değiştiği saptanmıştır.Gırtlak iskeleti, kıkırdak adı verilen kıkırdaklardan oluşur (Bahadır ve Yıldız 2014).
Larynx kıkırdaklarının biri çift, diğerleri tektir.

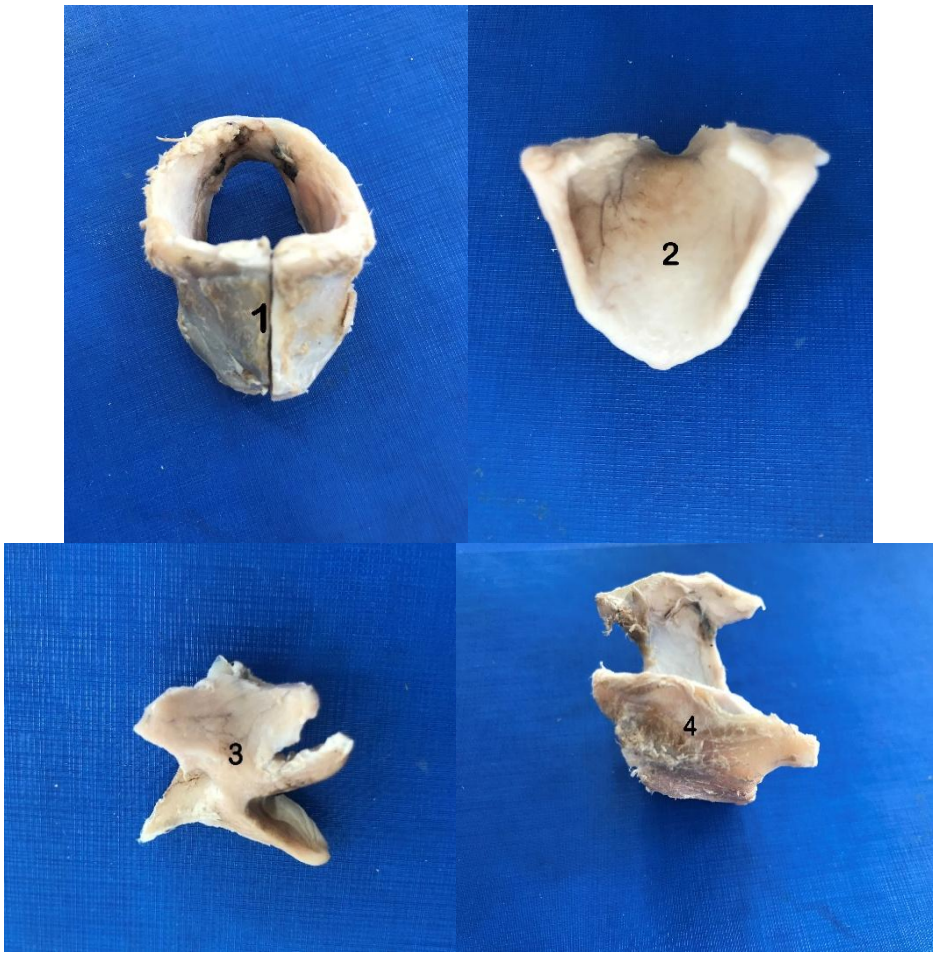
1. Epiglottis: Gırtlağı kapar, solunum yollarını yabancı maddelerden korur.
2. *Cartilago thyreoidea (kalkansı kıkırdak):* Larynx kıkırdaklarından en büyüğüdür.
3. *Cartilago cricoidea (yüzüksü kıkırdak)*
4. *Cartilago arytenoidea (ibriksi kıkırdak)*

Materyal metot

Çalışmada bir dişi ve bir erkek olmak üzere toplam 2 adet yetişkin malaklı köpeği kullanılmıştır. Materyallerin baş, boyun ve göğüs bölgeleri diseke edilerek gırtlak ve trakea çıkarılmıştır. Gırtlak kasları da ayrıca diseke edilerek kıkırdak yapılar ayrı ayrı elde edilmiştir.
Anatomik terminolojide temel olarak Nomina Anatomica Veterinaria (NAV 2012) kullanıldı.

Bulgular

Larynx, ağız boşluğunun gerisinde, pharynx (yutak) ve trachea (soluk borusu) arasında bulunan tüp şeklinde, kas ve kıkırdak dokudan oluşmuş bir organdır. Bu organ hem solunum hem de ses oluşumunda görevlidir. Larynx 3 tek (cartilago thyroidea, cartilago epiglottis, cartilago cricoidea) ve bir çift kıkırdaktan (cartilago arythenoidea) oluşmaktadır.
Erkek malaklı köpeğinin larynx kıkırdaklarının dişi malaklı köpeğine kıyasla daha büyük ve daha geniş olduğu belirlenmiştir.
Larynx kıkırdaklarının en büyüğü olan cartilago thyroidea, kalkan şeklinde ve iki lamina'nın (lamina dextra ve sinistra) ventralde ve orta çizgi üzerinde birleşmesiyle oluşmuştur. Bu birleşme yerinde insanlarda âdem elması olarak da bilinen sığ bir çıkıntı halinde prominentia laryngea bulunur.



Şekil 1. Larynx kıkırdakları

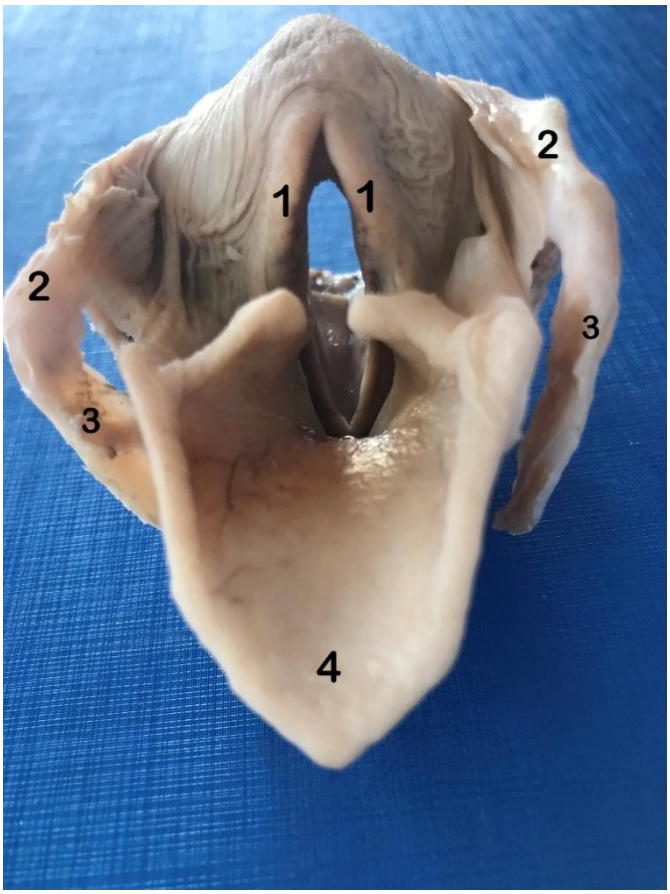
1. Cartilago cricoidea, 2. Cartilago epiglottica 3. Cartilago arytenoidea, 4. Cartilago thyroidea.

Her bir laminanın dorsalinde öne ve arkaya doğru cornu rostrale ve cornu caudale olmak üzere iki çıkıntı bulunur. Cornu rostrale dil kemiği ile eklem yapar. Bu cornu'nun hemen altında n. laryngeus cranialis'ın geçtiği dar fakat derin bir yarık bulunur.

Cornu caudalede, krikoid kıkırdağın laminasının kaudolateral yönüyle eklemleşme için bir krikoid eklem yüzeyi (facies articularis cricoidea) bulunur.

Cornu rostrale uzun ve ince gözlenirken, cornu caudale'nin küt bir şekli olduğu belirlendi.

Cartilago thyroidea'nın ventral caudal kenarında, sığ bir şekilde incisura thyroidea caudalis'in bulunmasına karşın cranial kenarı yandan yana hafifçe dışbükeydir.



Şekil 2. Larynx'n anatomik yapısı
1. Cartilago arytenoidea'nın proc. corniculatası, 2. Cartilago thyroidea'nın cornu rostralesi, 3.Cartilago thyrohyoidea, 4. Cartilago epiglottica.

Cartilago cricoidea'nın yüzük şeklinde bir kıkırdak olduğu görüldü. Yüzüğün kemer kısmı arcus cartilaginis cricoidea, üstte kalan kısmı ise lamina cartilaginis cricoidea olarak isimlendirilir. Bu kıkırdak önde cartilago arythenoidea, arkada ise birinci trachea halkası ile eklem yapar. Cranial'de m. cricoarytenoidea ile cartilago arythenoidea'ya caudalde ise lig. cricotracheale ile trachea'ya bağlanır.

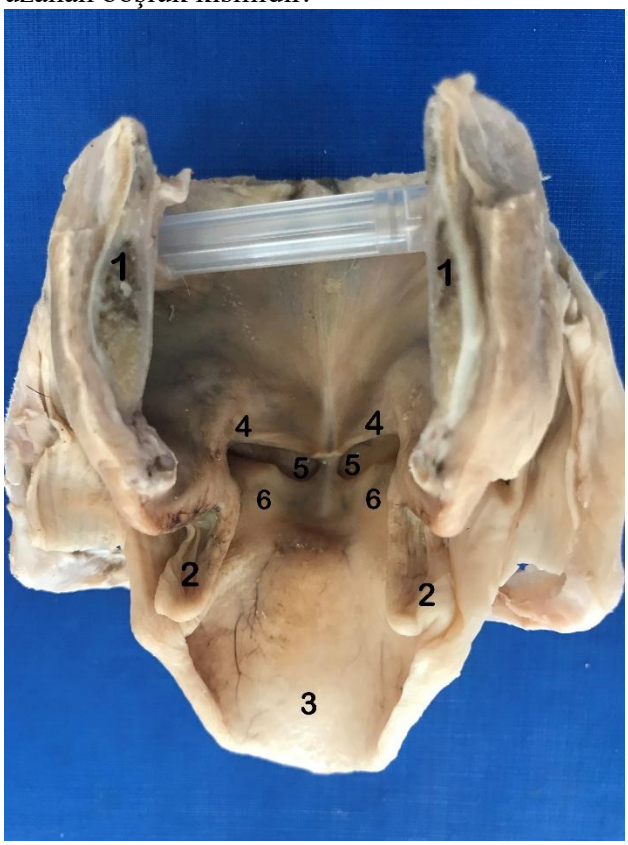
Cartilago cricoidea'nın laminasının ön kenarında cartilago arythenoidea'lar ile eklem yapan facies articularis arythenoidea, lamina'nın arka kenarında cartilago thyroidea'nın cornu caudale'si ile eklem yapan facies articularis thyroidea isimli eklem yüzü bulunur.

Cartilago arythenoidea, cartilago cricoidea'nın önünde piramide benzeyen bir çift kıkırdaktır. Cartilago arythenoidea'nın dorsal'inde processus corniculatus, caudo-ventral'inde ise transversal olarak uzanan processus vocalis'in şekillendiği görüldü. Processus muscularis'in eklem yüzeyinin doğrudan lateralinde yer alan nispeten kalın, yuvarlak bir çıkıntı olduğu gözlendi. Processus cuneiformis, aritenoid kıkırdağın en ön kısmında bulunur ve üçgen şeklindedir. Epiglottik kıkırdak (cartilago epiglottica), epiglottisin temelini oluşturur. Epiglottis, sivri uçlu bir küreğe benzer.

İç bükey olan ve larynx'e bakan yüze facies laryngea, dile bakan ve dışbükey olan yüze de facies lingualis adı verilir.

Epiglottis'in basis kısmının ortasında petiolus epiglottica olarak isimlendirilen küt bir yapının olduğu gözlendi. Epiglottis'in gerisinde larynx mucazasının her iki yanında dışa doğru yaptığı genişlemeler ventriculus laryngis lateralis'i şekillendirir.

Cavum laryngis:
Cavum laryngis, larynx girişinden cartilago cricoidea'nın arka kenarına kadar uzanan bir boşluktur ve vestibulum laryngis, ventriculus laryngis ve cavum infraglotticum olmak üzere üç bölümden oluşur.
Vestibulum laryngis; cavum laryngisin girişi olan aditus laryngis ile plica vestibularis'ler arasındaki boşluktur.
Ventriculus laryngis; cavum laryngis'in orta kısmındaki boşluktur. Plica vestibularis ve plica vocalis arasındaki kesimdir. Sesin oluşumuyla ilgili bölüme glottis ismi verilir. Bu kısım processeus vocalis'ler ve bunlara yapışan ligamentum vocale ile bu ligamentleri örten plica vocalis'lerden oluşur.
Cavum infraglotticum; Plica vocalis'lerden cartilago cricoidea'nın arka kenarına yada birinci trakea halkasına kadar uzanan boşluk kısmıdır.



Şekil 3. Larynx'n kıkırdakları ve bölümleri
1. Cartilago cricoidea, 2. Cartilago arytenoidea, 3. Cartilago epiglottica, 4. Plica vocalis, 5. Ventriculus laryngis lateralis, 6. Plica vestibularis.

Tartışma
Yerel bir hayvanat bahçesinde ölen 18 yaşındaki erkek bir kaplanın gırtlağının anatomisi incelenmiş ve kaplanın gırtlağının 10,0 cm uzunluğunda, boynun kranial yarısının orta düzleminde yer aldığı bildirilmiştir. Krikoid, tiroid, epiglot ve çift aritenoid olmak üzere beş kıkırdaktan oluştuğu ve tiroid kıkırdağın, kısmen krikotiroid kası ve krikotiroid bağı tarafından kapatılan, iyi sınırlandırılmış bir kaudal çentiğe sahip olduğu tespit edilmiştir (Perez ve ark., 2006).
Tilkide yapılan bir çalışmada, larynx'in tek olarak bulunan kıkırdaklardan; cartilago thyroidea,

cartilago epiglottis, cartilago cricoidea ve çift olarak bulunan cartilago arythenoidea'dan oluştuğu tespit edilmiştir. cartilago thryroidea'nın cornu rostrale ve cornu caudale'sinin oldukça belirgin olduğu bildirilmiştir. Cartilago cricoidea'nın kavisli bir yapıya sahip olduğu oval bir halka şeklinde olduğu tespit edilmiştir. Cartilago arythenoidea'nın hem sağ hem de sol tarafında, processus muscularis üzerinde geriye doğru bir projeksiyon olduğu, cartilago epiglottis'in ucunun sivri olduğu rapor edilmiştir (Halıgür ve Özkadif, 2021).

Doğan ve ark. (2023) vaşakta larynx'in çift arytenoid ve tek epiglottis, thyroid ve cricoid kıkırdaklarından oluştuğunu gözlemlemişlerdir. En büyük kıkırdak thyroid kıkırdağı olduğu, nervus laryngeus caudalis'in geçtiği thyroid kıkırdağının kaudal yarığı, thyroid kıkırdağının laminalarının ventralde birleştiği bölgenin kaudalinde belirlenmiştir. Dorsal yönde uzanan arytenoid kıkırdağının processus muscularis'i tespit edilmiştir. Processus vocalis'in aynı kıkırdağın ventralinde cavum laryngis'e doğru uzandığı görülmüştür.

Malaklı köpeğinde literatürlerde bildirildiği gibi larynx, ağız boşluğunun gerisinde, pharynx (yutak) ve trachea (soluk borusu) arasında bulunan tüp şeklinde, kas ve kıkırdak dokudan oluşmuş bir organdır. Larynx üç tek (cartilago thyroidea, cartilago epiglottis, cartilago cricoidea) ve bir çift kıkırdaktan (cartilago arythenoidea) oluşmaktadır. Bu organ hem solunum hem de ses oluşumunda görevlidir.

Larynx kıkırdaklarının en büyüğünün cartilago thyroidea olduğu tespit edilmiştir. Cartilago cricoidea'nın yüzük şeklinde bir kıkırdak olduğu görülmüştür. Cartilago arythenoidea, cartilago cricoidea'nın önünde piramide benzeyen bir çift kıkırdak olduğu ve cartilago epiglottica'nın epiglottisin temelini oluşturduğu ve sivri uçlu bir küreğe benzediği belirlenmiştir.

Kotian ve ark. (2014), yetişkin insan larenksleri üzerinde yaptıkları çalışmada, erkeklere ait ölçümlerin daha büyük olduğunu tespit etmişlerdir. Erkek ceylanların gırtlak kıkırdaklarının dişi ceylanlarınkine kıyasla daha büyük ve daha geniş olduğu belirtilmiştir (Düzler ve ark. 2005).

Yeni Zelanda tavşanlarında da gırtlak kıkırdakları ve trakeye ait ölçüm değerlerinin dişilerdekinden daha yüksek olduğu bildirilmiştir (Özkadif ve ark., 2016).

Yapılan bu çalışmada da literatürlere benzer şekilde erkek malaklı köpeğinin larynx kıkırdaklarının dişi malaklı köpeğine kıyasla daha büyük ve daha geniş olduğu belirlenmiştir.

Gırtlak rahatsızlıkları, örneğin BAS (Brakisefalik Hava Yolu Sendromu), LTS (Laringo-Trakeal Stenoz) ve çeşitli nedenlere bağlı glottis ödemi, çok sayıda köpek hastalığı arasında yaygın ve ciddi bir sorun teşkil etmektedir (Pink ve ark., 2006, Mullins ve ark., 2014). Bu organın patolojisi ve disfonksiyonu üzerine yapılan çalışmalar, gırtlak bozukluklarının belirli morfolojik tipleri temsil eden köpeklerde son derece sık görüldüğünü ortaya koymuştur. Örneğin, köpeklerde sıklıkla görülen hava yolu sendromu aritenoid kıkırdakta dejeneratif değişikliklerle ilişkilendirilmiştir (White 2011, Tokunaga ve ark., 2020). Bu patolojiden etkilenen köpeklerde dejeneratif özellikler ve bu kıkırdakta sertlik değişimi gözlemlenmiş, bu da bazı bireylerde aritenoid kıkırdağın zayıflamasına veya kırılmasına yol açmıştır (Flanders ve Thompson 2009).

Ayrıca, hava yolu sendromunun trakea çökmesine ve laringo-trakeal stenoz (LTS) adı verilen başka bir hastalığa yol açabileceği gösterilmiştir (Eliashar ve ark., 2000).

Bu çalışmada, malaklı köpeğinde larinksin anatomisini ortaya koyarak yukarıda anlatılan hastalıklara daha iyi müdahale edebilmek için bu alandaki boşluğu doldurmak amacıyla konu daha ayrıntılı bir şekilde incelenmiştir.

Kaynaklar

Bahadır, A. Yıldız, H. 2010. Veteriner Anatomi. Ezgi kitabevi. Bursa.

Atasoy F, Erdoğan M, Özarslan B, Yüceer B, Kocakaya A, Akçapınar H. (2014). Malaklı Karabaş köpeklerde bazı morfolojik ve genetik özellikler. *Ankara Univ Vet Fak Derg*. 61(2):125-132.

Düzler A, Nur IH, Çirli Ş, 2005. A macroanatomical investigation on trachea and the cartilages of larynx in the gazelle. J FacVet Med Univ Erciyes, 2, 23-28.

Eliashar, R., Davros, W., Gramlich, T., Moffett, K., Eliachar, I., Esclamado, R., Strome, M. (2000). Evaluating laryngotracheal stenosis in a canine model with virtual bronchoscopy. Ann. Otol. Rhinol. Laryngol., 109, 906–912.

Evans, H.E., Lahunta, A.D. (2013). Miller's Anatomy of the Dog. 4th ed: St Louis (MO), Elsevier Saunders.

Flanders, J.A., Thompson, M.S. (2009). Dyspnea caused by epiglottic retroversion in two dogs. JAVMA. 235:1330- 1335.

Halıgür A, Özkadif S. (2021). Kızıl tilki (*Vulpes vulpes*)'de larynx kıkırdak'larının ve trachea'nın morfolojik çalışması. *MAE Vet Fak Derg*, 6 (3), 109- 114.

Doğan, G. K., Aras, Ş., & Sarı, E. K. (2023). Macro Anatomical and Histological Study of Larynx Cartilage, Trachea, and Lungs in Lynx (Lynx lynx). *Van Veterinary Journal*, *34*(2), 126-132.

Kotian SR, Nayak V, Souza ASD, Souza AD, 2014. Morphology of human larynx: an anatomical study. Cukurova Med J, 39, 779-783.

Mullins, R., McAlinden, A.B., Goodfellow, M. (2014). Subtotal epiglot tectomy for the management of epiglottic retroversion in a dog. J Small Anim Pract., 55, 383–385.

N.A.V. (2017). International Committee on Veterinary Gross Anatomical Nomenclature. Nomina Anatomica Veterinaria (NAV). 6th ed. World Association of Veterinary Anatomists, Hanover (Germany), Ghent (Belgium), Columbia, MO (U.S.A.), Rio de Janeiro (Brazil).

Ograk, Y. Z., Öztürk, N., Akın, D., & Özcan, M. (2018). Comparison various body measurements of Aksaray Malakli and Kangal Dogs. *Journal of Istanbul Veterinary Sciences*, *2*(3), 86-91.

Özkadif, S., Dayan, M. O., Demiraslan, Y., Aykut, M., & Özgel, Ö. (2016). Morphometric properties of larynx and trachea in the New Zealand rabbit.

Perez, W., Lima, M., & Cunarro, B. (2006). Larynx anatomy in a tiger (Panthera tigris, Linnaeus, 1758).J Anim Vet Adv. 5(12):1093-1095.

Pink, J.J., Doyle, R.S., Hughes, J.M., Tobin, E., Bellenger, C.R. (2006). Laryngeal collapse in seven brachycephalic puppies. J. Small Anim. Pract., 47, 131–135.

Tokunaga, S., Ehrhart, E.J., Monnet, E. (2020). Histological and mechanical comparisons of arytenoid cartilage between brachycephalic and 8non-brachycephalic dogs. PLoS One. 15:1-10.

White, R.N. (2011). Surgical management of laryngeal collapseassociated with brachycephalic airway obstruction syndrome in dogs. J. Small. Anim. Pract., 53, 44–50.

Yılmaz, O., & Ertuğrul, M. (2012). Türkiye Yerli Köpek Irk ve Tipleri. *Journal of the Institute of Science and Technology*, *2*(1), 99-106.

SALON VOLEYBOLUNDA OYUNCU SAYISI VE SAHA BOYUTU MODİFİKASYONLARININ AKUT FİZYOLOJİK, ALGISAL VE MEKANİK YÜKLENME PARAMETRELERİNE ETKİSİ: GENİŞLETİLMİŞ SİSTEMATİK DERLEME VE METODOLOJİK SENTEZ

Dr. Şener MUTLU
Bursa Uludağ University, Faculty of Sports Sciences, Department of Physical Education and Sports, Bursa, Türkiye
ORCID: 0000-0002-1711-6048

ÖZET
Bu çalışmada salon voleybolunda oyuncu sayısı (2v2, 3v3, 4v4, 6v6) ve saha boyutu modifikasyonlarının akut fizyolojik (%KHamax, laktat), algısal (RPE/RPE-TL) ve mekanik (sıçrama frekansı, ivmelenme/yavaşlama yükleri, kat edilen mesafe) yüklenme parametreleri üzerindeki etkilerinin genişletilmiş bir literatür senteziyle değerlendirilmesi amaçlanmıştır. PubMed, Web of Science, Scopus, SPORTDiscus ve Europe PMC veri tabanları başlangıç yılı kısıtlaması olmaksızın taranmış; ilave olarak kaynak zincirlemesi uygulanmıştır. İncelemeye alınan araştırmalarda, oyuncu sayısının azaltılmasının (2v2 ve 3v3) sporcu başına düşen alan alanını artırarak ortalama kalp hızını maksimum kalp hızının %77–84'ü seviyelerine çıkardığı, algılanan efor puanlarında (RPE 6,00–7,25) ve kan laktat konsantrasyonlarında (8,8–9,5 mmol/L) belirgin yükselmeler sağladığı saptanmıştır. Buna karşın, oyuncu başına düşen alanın sabit tutulduğu standart ve modifiye saha formatlarında algılanan efor düzeyleri arasındaki farkların önemsiz kaldığı (−0,033 puan; %95 GA: −0,777 ile 0,710) görülmüştür. Saha boyutunun küçültülmesi ve kural modifikasyonları (file yüksekliği, servis sınırlandırmaları), rallilerdeki topun oyunda kalma süresini ve dikey sıçrama frekansını artırırken, kalp hızı ve genel fizyolojik yanıtlarda paralel bir doğrusal artış oluşturmamıştır. Sonuç olarak, voleybolda küçük alan oyunları ve boyut modifikasyonları tüm yüklenme göstergelerini üniform biçimde yükseltmemektedir. Antrenman tasarımı ve yük dozajlamasında oyuncu başına alan, ralli süreleri, dinlenme aralıkları ve kural sınırlamaları bütüncül bir yaklaşımla ele alınmalıdır.
Anahtar kelimeler: Voleybol, küçük alan oyunları, akut yüklenme, kalp hızı, algılanan efor, biyomekanik yük, antrenman dozajlaması

EFFECTS OF PLAYER NUMBER AND COURT DIMENSION MODIFICATIONS ON ACUTE PHYSIOLOGICAL, PERCEPTUAL, AND MECHANICAL WORKLOAD PARAMETERS IN INDOOR VOLLEYBALL: AN EXPANDED SYSTEMATIC REVIEW

ABSTRACT
This study aimed to evaluate the impact of player number (2v2, 3v3, 4v4, 6v6) and court dimension modifications on acute physiological (%HRmax, blood lactate), perceptual (RPE/RPE-TL), and mechanical (jump frequency, acceleration/deceleration load, total distance) workload parameters in indoor volleyball through an expanded literature synthesis. Systematic searches were conducted across PubMed, Web of Science, Scopus, SPORTDiscus, and Europe PMC databases without year limits. Findings revealed that reducing the number of players (2v2 and 3v3) increased the relative area per player, elevating average heart rates to 77–84% of HRmax, ratings of perceived exertion (RPE 6.00–7.25), and blood lactate accumulation (8.8–9.5 mmol/L). Conversely, when area per player was held constant between small-sided and formal game formats, differences in perceived exertion were negligible (−0.033 points, 95% CI: −0.777 to 0.710). Court dimensions and rule modifications (e.g., net height, serve

rules) increased rally duration and vertical jump counts but did not induce proportional linear increases in physiological strain. In conclusion, small-sided games and court modifications in volleyball do not uniformly elevate all workload indicators. Training prescription and load monitoring must holistically integrate area per player, rally duration, work-to-rest ratios, and specific rule constraints.
Keywords: Volleyball, small-sided games, acute workload, heart rate, perceived exertion, biomechanical load, training prescription

1. INTRODUCTION

Modern indoor volleyball is a complex team sport characterized by high-frequency vertical jumps, explosive changes of direction (COD), and rapid acceleration/deceleration actions, placing substantial physiological and biomechanical demands on athletes (Sheppard et al. 2009; Gabbett et al. 2012). To optimize technical-tactical skill acquisition while enhancing physiological conditioning, coaches and sports scientists frequently employ Small-Sided Games (SSGs) and modified court formats during training sessions (Gabbett 2008; de Oliveira Castro et al. 2022).

Modifying player numbers (e.g., 2v2, 3v3, 4v4) and court dimensions directly alters the relative area available per player, subsequently influencing ball-touch frequency, movement coverage, and cardiovascular strain (Halouani et al. 2023; do Nascimento et al. 2026). However, unlike continuous invasion sports such as soccer or basketball, volleyball is governed by intermittent rally structures (work-to-rest ratios) and spatial constraints imposed by the net and serving rules (Palao et al. 2024). Consequently, whether smaller player numbers or reduced court sizes systematically induce higher acute workloads remains a critical methodological question in sports conditioning (Birrento-Aguiar et al. 2025).

This study aims to synthesize current empirical evidence regarding the impact of player number and court dimension modifications on acute physiological (%HRmax, blood lactate), perceptual (RPE), and mechanical (jump frequency, acceleration/deceleration impact) workload parameters in indoor volleyball, offering evidence-based guidelines for training load prescription.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Search strategy and inclusion criteria

A comprehensive literature search was conducted across PubMed, Web of Science, Scopus, SPORTDiscus, and Europe PMC databases up to September 2026. The search syntax combined MeSH terms and keywords: ("volleyball" OR "volleyball players") AND ("small-sided games" OR "court size" OR "player number" OR "area per player") AND ("heart rate" OR "perceived exertion" OR "RPE" OR "lactate" OR "jump frequency" OR "training load"). Studies were included if they investigated acute workload responses to modified player numbers or court dimensions in indoor volleyball using quantitative experimental or quasi-experimental designs (Page et al. 2021).

2.2. Methodological quality and synthesis

Methodological quality was appraised using the JBI checklist for quasi-experimental studies (JBI 2024). Due to heterogeneities in study protocols, dynamic measurement units, and participant demographics, a structured narrative synthesis was conducted alongside descriptive data reporting.

Table 1. Summary of small-sided game formats and workload outcomes in indoor volleyball

Study	Format / Design	Workload Metrics	Key Findings
Halouani et al. (2023)	12 Youth Players (2v2, 3v3 vs. 6v6)	%HRmax, RPE (1-10), Blood Lactate	2v2 & 3v3 yielded higher HR (83.5% HRmax) and lactate (9.5 mmol/L) vs. 6v6.
do Nascimento et al. (2026)	30 Male Youth (3v3 vs. 6v6)	RPE (CR-10), Psychological Load	No significant RPE difference (-0.033 pts) when area per player was held constant.
Palao et al. (2024)	29 U14 Female (Court & Net Mod.)	Heart Rate, RPE, Jump Frequency	Reduced court size increased jump count (22.1 vs 11.7) without linear HR increase.
Birrento-Aguiar et al. (2025)	U14 Female Players (Competition Format)	Accelerometer Impact, Jumps	Modified formats elevated accelerometer impacts (5551); time-normalization required.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The synthesized findings demonstrate that reducing player numbers (2v2 and 3v3) increases relative court area per player, significantly elevating cardiovascular demand (77–84% %HRmax), perceived exertion (RPE 6.00–7.25), and blood lactate accumulation (8.8–9.5 mmol/L) compared to standard 6v6 play (Halouani et al. 2023). These physiological responses align with established conditioning literature highlighting the elevated aerobic and anaerobic energy system demands of small-sided formats (Gabbett 2008; Sheppard et al. 2009).

However, when relative court area per player is held constant (13.5 m² per player in both 3v3 and 6v6), differences in rating of perceived exertion become negligible (−0.033 points, 95% CI: −0.777 to 0.710) (do Nascimento et al. 2026). This underscores that area per player, rather than absolute player count, serves as the primary driver of perceived workload.

Regarding court dimension and net height modifications, reducing court boundaries enhances rally continuity and significantly increases vertical jump counts (11.7 to 22.1 jumps per match) (Palao et al. 2024; Birrento-Aguiar et al. 2025). Nonetheless, this mechanical load escalation does not induce a proportional linear increase in average heart rate or session RPE, emphasizing the necessity of monitoring internal (%HRmax, RPE) and external (jump volume, accelerometer loads) workloads concurrently (Bourdon et al. 2017; Impellizzeri et al. 2019).

4. CONCLUSIONS

Modifying player numbers and court dimensions in indoor volleyball effectively manipulates acute workload parameters. However, workload escalation is non-uniform across physiological, perceptual, and mechanical domains. Coaches must holistically account for relative area per player, rally duration, work-to-rest ratios, and specific rule constraints when prescribing small-sided games to prevent non-functional overreaching and optimize physical adaptation.

REFERENCES

Birrento-Aguiar RA, García-Angulo FJ, Leonardo L, Palao-Andrés JM, Ortega-Toro E, Oliver J. (2025). Impact of modified competition formats on physical performance in under-14 female volleyball players: The role of biological maturity. Sports 13(11), 390.

Bourdon PC, Cardinale M, Murray A, Gastin P, Kellmann M, Varley MC, Cable NT. (2017). Monitoring athlete training loads: consensus statement. International Journal of Sports

Physiology and Performance 12(s2), S2-161.
de Oliveira Castro H, Laporta L, Lima RF, et al. (2022). Small-sided games in volleyball: A systematic review of the state of the art. Biology of Sport 39(4), 995–1010.
do Nascimento MH, de Sá Filho AS, Aprigliano V, et al. (2026). Acute psychological responses to formal and small-sided volleyball games in male youth athletes: An exploratory repeated-measures study. Frontiers in Psychology 17, 1832942.
Gabbett TJ. (2008). Do skill-based conditioning games offer a specific training stimulus for junior elite volleyball players? Journal of Strength and Conditioning Research 22(2), 509–517.
Gabbett TJ, Jenkins DG, Abernethy B. (2012). Physical demands of skill-based training games in volleyball players. Journal of Strength and Conditioning Research 26(11), 3007-3013.
Halouani J, H'mida C, Trabelsi K, Clark CCT, Glenn JM, Chtourou H. (2023). Physiological responses of small-sided vs. regular games in youth volleyball players. Biology of Sport 40(1), 303–309.
Halson SL. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. Sports Medicine 44(2), 139-147.
Impellizzeri FM, Marcora SM, Coutts AJ. (2019). Internal and external training load: 15 years on. International Journal of Sports Physiology and Performance 14(2), 270-273.
JBI. (2024). JBI manual for evidence synthesis: Appendix 4.3 checklist for quasi-experimental studies. JBI Global.
Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, Boutron I, Hoffmann TC, Mulrow CD, Moher D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. BMJ 372, n71.
Palao JM, Ureña A, Moreno MP, Ortega-Toro E. (2024). Effect of changes in the net height, court size, and serve limitations on technical-tactical, physical, and psychological aspects of U-14 female volleyball matches. Frontiers in Psychology 14, 1341297.
Sheppard JM, Gabbett TJ, Stanganelli LC. (2009). An analysis of playing positions in elite men's volleyball: physiological, anthropometric, and performance characteristics. Journal of Strength and Conditioning Research 23(6), 1858-1866.
— Bu tam metin bildirisi Uluslararası Kongre (2608 Örnek Tam Metin) şablonu standartlarına göre düzenlenmiştir. Resmî Kongre Sayfası: https://www.isarconference.org/iyonya —

İNME REHABİLİTASYONUNDA SANAL GERÇEKLİK: ÜST EKSTREMİTEDEN YÜRÜMEYE GÜNCEL KANITLAR

Ece Acar, PhD, PT
Karabük Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Karabük, TÜRKİYE
ORCID ID: 0000-0002-0470-5935

ÖZET
İnme sonrası rehabilitasyonda sanal gerçeklik (SG), yoğun tekrar, görev odaklı eğitim, anlık geri bildirim ve motivasyonu aynı tedavi ortamında birleştirebilmesi nedeniyle giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bununla birlikte kullanılan sistemlerin immersiyon düzeyi, oyun ve görev içerikleri, tedavi süresi, uygulama dozu ve konvansiyonel rehabilitasyona eklenme biçimi çalışmalar arasında önemli farklılık göstermektedir. Bu derlemenin amacı, SG uygulamalarının inme sonrası üst ekstremite motor fonksiyonu, alt ekstremite performansı, denge, yürüme, fonksiyonel mobilite ve günlük yaşam aktiviteleri üzerindeki güncel kanıtlarını bütüncül olarak değerlendirmektir. Bu amaçla PubMed'de 2023–Eylül 2026 döneminde yayımlanan sistematik derlemeler, meta-analizler ve şemsiye derlemeler anlatı sentezi yaklaşımıyla incelenmiştir. İnme sonrası erişkinlerde immersif veya non-immersif SG uygulamalarını konvansiyonel tedavi, standart bakım ya da ek tedavi ile karşılaştıran çalışmalar önceliklendirilmiştir. Güncel kanıtlar, SG'nin özellikle geleneksel rehabilitasyona ek olarak kullanıldığında üst ekstremite motor fonksiyonu, denge, fonksiyonel mobilite ve yürüme ile ilişkili sonuçlarda yarar sağlayabildiğini göstermektedir. Üst ekstremitede Fugl-Meyer gibi motor değerlendirmelerde olumlu etkiler daha sık bildirilirken, alt ekstremitede denge ve mobilite sonuçları da genel olarak olumlu yöndedir. Buna karşın katılım, bilişsel sonuçlar ve yaşam kalitesine ilişkin bulgular daha değişkendir. Ayrıca immersif sistemlerin her durumda daha üstün olduğuna ilişkin yeterli kanıt bulunmamaktadır. Sonuç olarak SG, geleneksel fizyoterapinin yerine geçen bağımsız bir tedavi değil; tedavi yoğunluğunu ve göreve özgü tekrarı artırabilecek tamamlayıcı bir rehabilitasyon aracı olarak değerlendirilmelidir.
Anahtar Kelimeler: İnme, Sanal Gerçeklik, Nörorehabilitasyon, Denge, Üst Ekstremite

VIRTUAL REALITY IN STROKE REHABILITATION: CURRENT EVIDENCE FROM THE UPPER EXTREMITY TO GAIT

ABSTRACT
Virtual reality (VR) is increasingly used in post-stroke rehabilitation because it can combine intensive repetition, task-oriented training, real-time feedback, and motivation within the same therapeutic environment. However, substantial heterogeneity exists across studies regarding immersion level, game and task content, treatment duration, intervention dose, and the way VR is integrated with conventional rehabilitation. This review aimed to provide an integrated evaluation of current evidence on the effects of VR on upper-extremity motor function, lower-extremity performance, balance, gait, functional mobility, and activities of daily living after stroke. Systematic reviews, meta-analyses, and umbrella reviews published in PubMed between 2023 and September 2026 were examined using a narrative synthesis approach. Evidence comparing immersive or non-immersive VR with conventional therapy, usual care, or adjunctive treatment in adults after stroke was prioritized. Current evidence suggests that VR may improve upper-extremity motor function, balance, functional mobility, and gait-related outcomes, particularly when used as an adjunct to conventional rehabilitation. Positive effects

are frequently reported for upper-extremity motor outcomes such as the Fugl-Meyer assessment, while balance and mobility findings for the lower extremity are also generally favorable. In contrast, findings related to participation, cognition, and quality of life are more variable. There is also insufficient evidence to conclude that immersive systems are consistently superior. Overall, VR should be viewed as a complementary rehabilitation tool that may increase treatment intensity and task-specific repetition rather than as a replacement for conventional physiotherapy.
Keywords: Stroke, Virtual Reality, Neurorehabilitation, Balance, Upper Extremity

1. GİRİŞ

İnme, erişkinlerde uzun süreli nörolojik özürlülüğün başlıca nedenlerinden biridir ve motor kayıp, denge bozukluğu, yürüme kısıtlılığı, üst ekstremite kullanımında azalma ve günlük yaşam aktivitelerinde bağımlılık gibi çok boyutlu sonuçlara yol açabilir. Nörorehabilitasyonun temel hedefi, yalnızca kas kuvvetini artırmak değil; anlamlı görevler içinde tekrarlı hareket, duyusal-motor geri bildirim ve aktif katılım yoluyla işlevsel yeniden öğrenmeyi desteklemektir. Bu nedenle son yıllarda tedavi dozunu ve göreve özgü tekrar sayısını artırabilen teknoloji destekli yaklaşımlar klinik rehabilitasyonun önemli bir araştırma alanı haline gelmiştir (Hao ve ark. 2024; Laver ve ark. 2025).

Sanal gerçeklik; kullanıcının görsel, işitsel ve kimi sistemlerde dokunsal geri bildirim aracılığıyla bilgisayar tarafından oluşturulan bir çevreyle etkileşime girmesine olanak veren geniş bir teknoloji grubunu ifade eder. İnme rehabilitasyonunda kullanılan sistemler, televizyon/monitör tabanlı non-immersif oyunlardan başa takılan ekranların kullanıldığı immersif sistemlere ve hareket sensörleri, kameralar veya robotik arabirimlerle bütünleştirilen yarı-immersif çözümlere kadar uzanmaktadır. Bu çeşitlilik, SG'nin tek bir müdahale olarak değil; farklı yoğunluk, görev tasarımı, geri bildirim biçimi ve kullanıcı etkileşimi düzeylerine sahip bir rehabilitasyon platformu olarak değerlendirilmesini gerektirir (Soleimani ve ark. 2024; Zhang ve ark. 2025).

SG'nin klinik olarak çekici yönlerinden biri, geleneksel egzersizin temel ilkelerini dijital bir ortamda yoğunlaştırabilmesidir. Görev zorluğu kademeli biçimde ayarlanabilir, tekrar sayısı artırılabilir, başarıya ilişkin anlık geri bildirim verilebilir ve hasta performansı görsel olarak izlenebilir. Bununla birlikte teknolojiye bağlı motivasyon artışının gerçek fonksiyonel kazanca dönüşmesi; hastanın başlangıç motor kapasitesi, bilişsel durumu, görsel-vestibüler toleransı, sistemin göreve özgüllüğü ve toplam tedavi süresi gibi değişkenlerden etkilenir. Güncel şemsiye derlemeler ve Cochrane güncellemesi, SG'nin bazı motor ve aktivite sonuçlarında yarar sağlayabildiğini; ancak sonuçların tüm alanlarda aynı derecede tutarlı olmadığını göstermektedir (Hao ve ark. 2024; Laver ve ark. 2025).

Bu derlemenin amacı, 2023–Eylül 2026 dönemindeki güncel üst düzey kanıtları temel alarak inme sonrası SG uygulamalarını üst ekstremite, denge, yürüme ve fonksiyonel mobilite ekseninde değerlendirmek; immersiyon düzeyinin olası etkisini tartışmak ve klinik uygulama açısından hangi koşullarda daha anlamlı bir tamamlayıcı tedavi olabileceğini ortaya koymaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Literatür tarama yaklaşımı

Bu çalışma anlatı derlemesi olarak planlandı. PubMed veri tabanında 2023–Eylül 2026 döneminde yayımlanan sistematik derlemeler, meta-analizler, ağ meta-analizleri ve şemsiye derlemeler önceliklendirildi. Tarama mantığı “stroke”, “post-stroke”, “virtual reality”, “immersive virtual reality”, “exergaming”, “upper extremity”, “balance”, “gait”, “mobility”, “systematic review” ve “meta-analysis” kavramlarının farklı kombinasyonlarına dayandırıldı. Güncel kanıtın bağlamlandırılması için 2025 tarihli Cochrane derlemesi de temel kaynaklardan

biri olarak ele alındı.

2.2. Dahil etme ölçütleri ve sentez

İnme sonrası erişkinleri içeren, SG veya etkileşimli video oyunu temelli rehabilitasyonu konvansiyonel fizyoterapi, standart bakım, aktif kontrol veya olağan bakıma ek tedavi ile karşılaştıran derlemeler dikkate alındı. Motor fonksiyon, üst ekstremite aktivitesi, denge, fonksiyonel mobilite, yürüme hızı, günlük yaşam aktiviteleri, katılım, biliş ve yaşam kalitesi sonuçları öncelikli çıktı alanları olarak belirlendi. Çalışmaların sistem, doz ve popülasyon heterojenliği nedeniyle nicel veriler yeniden birleştirilmedi; sonuçlar klinik alanlara göre anlatı sentezi ile değerlendirildi. Bu yaklaşım, kapsamlı bir PRISMA sistematik derlemesinin yerine geçmemekte; güncel üst düzey kanıtın klinik yorumunu amaçlamaktadır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Genel kanıt görünümü

Güncel kanıt tabanı SG lehine umut verici olmakla birlikte, kanıt kalitesi ve müdahale heterojenliği temel sınırlılıklardır. Hao ve arkadaşlarının 2024 tarihli şemsiye derlemesi 78 sistematik derlemeyi değerlendirmiş ve üst ekstremite motor fonksiyonu, üst ekstremite aktivitesi, denge, fonksiyonel mobilite ve yürüme hızı gibi alanlarda derlemelerin çoğunda SG lehine bulgular raporlandığını göstermiştir. Bununla birlikte dahil edilen derlemelerin önemli bir bölümünün metodolojik kalitesi düşük veya kritik düzeyde düşük bulunmuştur. Bu durum, olumlu etkinin varlığından çok etkinin büyüklüğü ve hangi hasta grubunda en anlamlı olduğu konusunda temkinli yorum yapılmasını gerektirir (Hao ve ark. 2024).

2025 Cochrane güncellemesi 190 çalışmada 7188 katılımcıyı kapsayan geniş bir kanıt tabanı sunmuştur. Bu güncellemede SG ve etkileşimli video oyunlarının alternatif tedavilere kıyasla üst ekstremite fonksiyonunda küçük bir yarar sağlayabileceği, denge ve aktivite kısıtlılığında da olumlu etkiler görülebileceği bildirilmiştir. Özellikle SG'nin olağan tedaviye eklenerek toplam terapi süresini artırdığı durumlarda üst ekstremite kazanımlarının daha belirgin olabileceği vurgulanmıştır. Buna karşın yürüme hızı, katılım ve yaşam kalitesi gibi alanlarda kanıt daha değişkendir (Laver ve ark. 2025).

3.2. Üst ekstremite motor fonksiyonu

Üst ekstremite rehabilitasyonu, SG çalışmalarının en yoğunlaştığı alanlardan biridir. Fugl-Meyer Üst Ekstremite değerlendirmesi, Box and Block Test, Wolf Motor Function Test ve benzeri sonuç ölçütlerinde SG lehine iyileşmeler bildirilmiştir. Soleimani ve arkadaşlarının 2024 tarihli sistematik derleme ve meta-analizi, farklı immersiyon düzeylerinde uygulanan SG'nin üst ekstremite iyileşmesinde potansiyel yararını desteklemiş; ancak uygulamaların içerik ve doz açısından belirgin heterojenlik taşıdığını göstermiştir. 2025 tarihli ağ meta-analizi de modaliteler arasında olası farklılıklar bulunduğunu, fakat immersiyon düzeyinin tek başına klinik üstünlüğü açıklamadığını ortaya koymuştur (Soleimani ve ark. 2024; Zhang ve ark. 2025).

Bu bulgular klinik olarak iki noktaya işaret eder. Birincisi, SG'nin “teknoloji etkisi”nden çok sağladığı yoğun, tekrarlı ve hedefe yönelik pratik yoluyla yarar oluşturması olasıdır. İkincisi, sanal görevlerin gerçek yaşam aktivitelerine benzerliği önemlidir. Sadece ekranda yüksek skor elde etmeye dayalı oyunların motor öğrenme açısından değeri, kavrama-uzanma, nesne manipülasyonu ve iki el kullanımını içeren işlevsel görevlerden daha sınırlı olabilir. Bu nedenle uygulama seçilirken hastanın gerçek aktivite hedefi ile sanal görevin biyomekanik ve fonksiyonel uyumu gözetilmelidir.

3.3. Denge, alt ekstremite ve fonksiyonel mobilite

Denge ve fonksiyonel mobiliteye ilişkin güncel derlemeler genel olarak olumlu yöndedir. SG tabanlı ağırlık aktarma, hedefe uzanma, gövde kontrolü, adımlama ve çift görev uygulamaları görsel geri bildirim aracılığıyla postüral kontrol stratejilerini yoğun biçimde çalıştırabilir.

Şemsiye derleme düzeyindeki bulgular, denge ve fonksiyonel mobilite sonuçlarının SG lehine olabildiğini göstermektedir (Hao ve ark. 2024). Cochrane güncellemesi de denge alanında küçük yararlar olabileceğini, ancak mobilitenin tüm alt boyutlarında aynı kesinliğin bulunmadığını belirtmektedir (Laver ve ark. 2025).

Alt ekstremite rehabilitasyonunda teknolojik sistemin güvenlik profili ayrıca önem taşır. Ayakta uygulanan immersif görevlerde düşme riski, siber-hastalık belirtileri, baş dönmesi ve görsel-vestibüler uyumsuzluk göz önüne alınmalıdır. Özellikle erken dönemde bağımsız ayakta durma kapasitesi düşük olan bireylerde terapist yakın gözetimi, güvenlik kemeri veya destek yüzeyi gibi önlemler gerekli olabilir. Bu nedenle SG ile kazanılan performansın yalnız sanal ortam içinde değil, gerçek yürüyüş, yön değiştirme ve transfer görevlerine aktarımı da ölçülmelidir.

3.4. Yürüme performansı

Yürüme hızı ve dayanıklılık gibi sonuçlarda bulgular üst ekstremite ve denge kadar tutarlı değildir. Güncel Cochrane değerlendirmesi SG'nin yürüme hızı üzerinde açık ve sürekli bir üstünlüğünü göstermemektedir. Buna karşılık sanal çevrede görsel akış, engel aşma, yön değiştirme, ritim ve hedef temelli adımlama gibi görevler, klasik yürüme eğitimine ek olarak kullanıldığında pratik miktarını ve görev çeşitliliğini artırabilir. Dolayısıyla yürüme alanındaki klinik değer, çoğu zaman SG'nin tek başına sağladığı bir etkiden ziyade toplam egzersiz dozuna ve uygulamanın gerçek yürüme görevleriyle bütünleştirilmesine bağlı görünmektedir (Laver ve ark. 2025; Navas-Otero ve ark. 2025).

3.5. İmmersif ve non-immersif sistemlerin karşılaştırılması

İmmersif SG, hastanın dikkatini dış çevreden daha fazla ayırarak yüksek varlık hissi oluşturabilir ve karmaşık görevleri kontrollü bir ortamda sunabilir. Bununla birlikte daha yüksek immersiyon düzeyi otomatik olarak daha yüksek klinik etki anlamına gelmemektedir. Güncel modalite karşılaştırmaları; sistemin etkileşim kalitesi, görev tasarımı, hasta profili ve uygulama süresinin immersiyon düzeyinden en az onun kadar önemli olduğunu göstermektedir (Zhang ve ark. 2025; Cardile ve ark. 2025). Özellikle başa takılan ekranların yaşlı bireylerde tolere edilebilirliği, görsel bozukluklar, neglect, vestibüler hassasiyet ve kognitif yük açısından bireyselleştirilmelidir.

3.6. Günlük yaşam aktiviteleri, katılım, biliş ve yaşam kalitesi

Motor performanstaki iyileşmenin günlük yaşama ve sosyal katılıma aktarılması SG araştırmalarının en kritik konularından biridir. Şemsiye derleme, aktivite ve fonksiyonel bağımsızlık alanında olumlu eğilimler bildirirken katılım ve biliş alanlarında tutarlı üstünlük gösteren kanıtın daha sınırlı olduğunu belirtmektedir (Hao ve ark. 2024). Benzer biçimde Cochrane güncellemesinde yaşam kalitesi ve katılım için kesin sonuç çıkaracak kanıtın yetersiz olduğu vurgulanmıştır (Laver ve ark. 2025). Bu durum, klinik araştırmalarda yalnızca laboratuvar tipi motor skorların değil, Motor Activity Log, günlük yaşam bağımsızlığı, toplumsal katılım ve hasta tarafından anlamlı kabul edilen hedeflerin de değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

3.7. Klinik uygulamaya yönelik çıkarımlar

Mevcut kanıtlar ışığında SG'nin en rasyonel kullanımı, bireyselleştirilmiş fizyoterapi programına eklenen ve toplam aktif uygulama süresini artıran bir araç olarak görünmektedir. Hastanın nörolojik durumu, denge kapasitesi, üst ekstremite seçici motor kontrolü, görme, biliş, yorgunluk ve teknoloji kullanımına toleransı başlangıçta değerlendirilmelidir. Seanslarda görev zorluğu ulaşılabilir ancak yeterince zorlayıcı olacak şekilde ilerletilmeli; performans yalnız oyun puanı üzerinden değil klinik olarak anlamlı fonksiyonel ölçütlerle izlenmelidir. Ayrıca gerçek yaşam pratiği ile sanal görev arasında açık bir transfer planı kurulmalıdır.

Tablo 1. İnme rehabilitasyonunda sanal gerçekliğe ilişkin güncel kanıtın klinik özeti

Alan	Güncel kanıtın genel yönü	Klinik yorum
Üst ekstremite	Çoğu derleme ve meta-analizde küçük-orta düzey olumlu etkiler; özellikle olağan bakıma ek kullanımda yarar.	Göreve özgü tekrarı artırmak için uygun; gerçek yaşam görevlerine transfer izlenmeli.
Denge	Genel olarak olumlu; kanıt üst ekstremiteye benzer biçimde heterojen.	Ağırlık aktarma ve postüral kontrol görevleri yararlı olabilir; güvenlik önlemleri gerekli.
Fonksiyonel mobilite	Olumlu eğilim; bazı sonuçlarda anlamlı yarar.	Transfer, yön değiştirme ve adımlama ile bütünleştirilmesi önerilir.
Yürüme hızı	Tutarsız/karma; sürekli üstünlük gösterilmemiş.	Tek başına SG yerine gerçek yürüme eğitiminin tamamlayıcısı olarak kullanılmalı.
Katılım / yaşam kalitesi	Kanıt sınırlı ve değişken.	Motor skorların ötesinde hasta merkezli sonuçlar ölçülmeli.
İmmersiyon düzeyi	Daha yüksek immersiyonun tutarlı üstünlüğü gösterilmemiş.	Sistem seçimi hasta toleransı, görev kalitesi ve güvenliğe göre yapılmalı.

4. SONUÇ

Güncel üst düzey kanıtlar, sanal gerçekliğin inme rehabilitasyonunda özellikle üst ekstremite motor fonksiyonu, denge ve bazı fonksiyonel mobilite sonuçlarında yararlı bir tamamlayıcı araç olabileceğini göstermektedir. Etkinin en tutarlı olduğu senaryo, SG'nin geleneksel rehabilitasyona eklenerek toplam aktif terapi süresini ve göreve özgü tekrar miktarını artırdığı uygulamalardır. Buna karşılık yürüme hızı, katılım, biliş ve yaşam kalitesi gibi sonuçlarda kanıt daha değişkendir. İmmersif sistemlerin non-immersif sistemlere karşı genel ve koşulsuz bir üstünlüğü henüz gösterilmemiştir. Bu nedenle klinik karar, teknolojinin yeniliğine değil; hastanın hedeflerine, güvenliğine, toleransına, görev tasarımının işlevsel anlamlılığına ve gerçek yaşam aktivitelerine aktarımına dayandırılmalıdır.

REFERENCES

Hao J, Crum G, Siu KC. (2024). Effects of virtual reality on stroke rehabilitation: An umbrella review of systematic reviews. Health Science Reports, 7(9), e70082. doi:10.1002/hsr2.70082.

Laver KE, Lange B, George S, Deutsch JE, Saposnik G, Chapman M, Crotty M. (2025). Virtual reality for stroke rehabilitation. Cochrane Database of Systematic Reviews, Issue 6, CD008349. doi:10.1002/14651858.CD008349.pub5.

Soleimani M, Ghazisaeedi M, Heydari S. (2024). The efficacy of virtual reality for upper limb rehabilitation in stroke patients: A systematic review and meta-analysis. BMC Medical Informatics and Decision Making, 24, 135. doi:10.1186/s12911-024-02534-y.

Zhang Y, Liu Y, Yue S, Yang Y, Xiao Y, Yang L, Cai S. (2025). Effects of virtual reality with different modalities on upper limb recovery: A systematic review and network meta-analysis on optimizing stroke rehabilitation. Frontiers in Neurology. PMID: 40236896.

Navas-Otero A, Canal-Pérez A, Martín-Núñez J, Ortiz-Rubio A, Raya-Benítez J, Valenza MC, Cabrera-Martos I. (2025). Rehabilitation applied with virtual reality improves functional capacity in post-stroke patients: A systematic review and meta-analysis. Rehabilitación, 59(2), 100907. doi:10.1016/j.rh.2025.100907.

Cardile D, Arena C, Corallo F, Giuffrida GM, Giustiniani A, Maggio MG, Rifici C, Quartarone A, Tomaiuolo F, Calabrò RS. (2025). A systematic review on the use of virtual reality in post-stroke patients: Exploring when modalities make the difference in executive and motor recovery. Frontiers in Virtual Reality, 6, 1653968. doi:10.3389/frvir.2025.1653968.

KAS-İSKELET SİSTEMİ REHABİLİTASYONUNDA DİJİTAL EGZERSİZ VE TELEREHABİLİTASYON: GÜNCEL KANITLAR

Ece Acar, PhD, PT
Karabük Üniversitesi, Sağlık Bilimleri Fakültesi, Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Bölümü, Karabük, TÜRKİYE
ORCID ID: 0000-0002-0470-5935

ÖZET
Kas-iskelet sistemi rehabilitasyonunda ev egzersiz programları temel tedavi bileşenlerinden biri olmakla birlikte, egzersizlerin doğru uygulanması, programa devamlılık ve düzenli geri bildirim sağlanması klinik sonuçları etkileyebilmektedir. Mobil uygulamalar, video görüşmeleri, web tabanlı egzersiz platformları ve uzaktan izlem sistemleri, bu sınırlılıkları azaltmak ve fizyoterapi hizmetlerine erişimi artırmak amacıyla giderek daha fazla kullanılmaktadır. Bu derlemenin amacı, kas-iskelet sistemi rehabilitasyonunda dijital egzersiz ve telerehabilitasyon yaklaşımlarının ağrı, fiziksel fonksiyon, eklem hareket açıklığı, yaşam kalitesi ve tedaviye uyum üzerindeki güncel kanıtlarını değerlendirmektir. PubMed'de 2023–Eylül 2026 döneminde yayımlanan sistematik derlemeler ve meta-analizler anlatı derlemesi yaklaşımıyla incelenmiş; bel, omuz, diz ve diğer kas-iskelet sistemi sorunlarında uygulama tabanlı egzersiz, internet tabanlı programlar, video destekli telerehabilitasyon ve uzaktan fizyoterapist takibini değerlendiren çalışmalar önceliklendirilmiştir. Güncel derlemeler, dijital egzersiz yaklaşımlarının özellikle bel, omuz ve kalça ile ilişkili kas-iskelet sistemi sorunlarında fonksiyon ve bazı hasta bildirimli sonuçlarda iyileşme sağlayabildiğini göstermektedir. Omuz hastalıklarında telerehabilitasyonun ev egzersizine kıyasla hareket açıklığı ve fonksiyon üzerinde ek yararlar sağlayabildiği, ağrı sonuçlarının ise daha değişken olduğu bildirilmektedir. Bel ağrısında uzaktan egzersiz uygulamaları ağrı, özürlülük ve yaşam kalitesi açısından genel olarak güvenli ve uygulanabilir görünmektedir. Bununla birlikte müdahale içeriği, terapist teması, geri bildirim düzeyi ve egzersiz dozu arasındaki farklılıklar teknolojinin bağımsız etkisini ayırt etmeyi güçleştirmektedir. Sonuç olarak dijital rehabilitasyon, uygun hasta seçiminde yüz yüze fizyoterapiyi destekleyen erişilebilir bir bakım modeli olarak değerlendirilebilir.
Anahtar Kelimeler: Telerehabilitasyon, Dijital Sağlık, Egzersiz Tedavisi, Kas-İskelet Sistemi, Ev Egzersizi

DIGITAL EXERCISE AND TELEREHABILITATION IN MUSCULOSKELETAL REHABILITATION: CURRENT EVIDENCE

ABSTRACT
Home exercise programs are a core component of musculoskeletal rehabilitation; however, correct exercise performance, adherence, and regular feedback can influence clinical outcomes. Mobile applications, video consultations, web-based exercise platforms, and remote monitoring systems are increasingly used to improve access to physiotherapy and support home exercise. This review aimed to evaluate current evidence on digital exercise and telerehabilitation for pain, physical function, range of motion, quality of life, and treatment adherence. Systematic reviews and meta-analyses published in PubMed between 2023 and September 2026 were examined using a narrative review approach. Studies of app-based exercise, internet-delivered programs, video-supported telerehabilitation, and remote physiotherapist monitoring for low back, shoulder, knee, and other musculoskeletal conditions were prioritized. Current reviews

suggest that digital exercise may improve function and selected patient-reported outcomes, particularly in low back, shoulder, and hip conditions. In shoulder disorders, telerehabilitation may provide additional benefits for range of motion and function compared with unsupervised home exercise, whereas pain outcomes are more variable. Remote exercise for low back pain generally appears safe and feasible and may improve pain, disability, and quality of life. However, differences in intervention content, therapist contact, feedback intensity, and exercise dose make the independent effect of technology difficult to isolate. Overall, digital rehabilitation may support face-to-face physiotherapy when patient selection and exercise planning are individualized.
Keywords: Telerehabilitation, Digital Health, Exercise Therapy, Musculoskeletal System, Home Exercise

1. GİRİŞ

Kas-iskelet sistemi bozuklukları ağrı, aktivite kısıtlılığı, iş gücü kaybı ve yaşam kalitesinde azalma ile ilişkilidir. Fizyoterapi ve egzersiz tedavisi; bel, boyun, omuz, diz ve kalça kaynaklı birçok kas-iskelet sistemi probleminde konservatif yönetimin temel bileşenlerinden biridir. Bununla birlikte geleneksel ev egzersiz programlarında doğru teknikle uygulama, yeterli doz, devamlılık, motivasyon ve gerektiğinde programın ilerletilmesi klinik sonuçları belirleyen önemli faktörlerdir. Bu sorunlar, erişim güçlükleri ve sağlık hizmeti kapasitesindeki sınırlılıklarla birleştiğinde dijital egzersiz ve telerehabilitasyon modellerine olan ilgiyi artırmıştır (Molina-Garcia ve ark. 2024; Bargeri ve ark. 2024).

Telerehabilitasyon; değerlendirme, eğitim, egzersiz, takip ve geri bildirimin telekomünikasyon teknolojileri aracılığıyla kısmen veya tamamen uzaktan sunulmasını kapsayan geniş bir bakım modelidir. Senkron video görüşmeleri, mobil uygulamalar, internet tabanlı egzersiz platformları, asenkron video içerikleri, mesaj tabanlı takip ve giyilebilir cihaz destekli izlem farklı modeller arasında yer alır. Bu modellerin ortak amacı yalnızca yüz yüze ziyaret sayısını azaltmak değil; bakımın sürekliliğini, egzersiz uyumunu ve geri bildirim sıklığını artırmaktır.

Güncel sistematik derlemeler telerehabilitasyonun birçok kas-iskelet sistemi durumunda geleneksel bakım ile benzer veya bazı sonuçlarda daha iyi klinik sonuçlar sağlayabildiğini düşündürmektedir. Bununla birlikte teknoloji platformu, fizyoterapist teması, müdahalenin kişiselleştirilme düzeyi, egzersiz içeriği ve tedavi süresi arasında büyük farklılıklar bulunmaktadır. Bu heterojenlik, gözlenen faydanın ne kadarının teknolojiden, ne kadarının daha yüksek takip sıklığı veya egzersiz dozundan kaynaklandığını ayırmayı güçleştirir (Bargeri ve ark. 2024; Molina-Garcia ve ark. 2024).

Bu derlemenin amacı, 2023–Eylül 2026 dönemindeki güncel sistematik derleme ve meta-analizleri temel alarak dijital egzersiz ve telerehabilitasyonun kas-iskelet sistemi rehabilitasyonundaki etkilerini ağrı, fonksiyon, eklem hareket açıklığı, yaşam kalitesi, uyum ve erişilebilirlik açısından değerlendirmek; bel ve omuz bölgesindeki kanıtları ayrıntılandırmak ve klinik uygulama için pratik çıkarımlar sunmaktır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Literatür tarama yaklaşımı

Bu çalışma anlatı derlemesi olarak hazırlandı. PubMed veri tabanında 2023–Eylül 2026 arasında yayımlanmış sistematik derlemeler, meta-analizler, ağ meta-analizleri ve şemsiye derlemeler önceliklendirildi. Tarama yaklaşımında “telerehabilitation”, “telemedicine”, “digital exercise”, “mobile application”, “musculoskeletal”, “low back pain”, “shoulder”, “knee”, “exercise therapy”, “systematic review” ve “meta-analysis” terimlerinin kombinasyonları kullanıldı. Güncel kanıtın klinik bağlamını güçlendirmek için genel kas-iskelet telerehabilitasyonu yanında bölgeye özgü derlemeler de değerlendirildi.

2.2. Dahil etme ölçütleri ve sentez

Erişkin kas-iskelet sistemi hastalıklarında telerehabilitasyon, tele-fizyoterapi, uygulama tabanlı egzersiz, web tabanlı program veya video görüşmesi destekli rehabilitasyonu; yüz yüze bakım, ev egzersizi, olağan bakım veya minimal müdahale ile karşılaştıran derlemeler dikkate alındı. Ağrı, özürlülük/fonksiyon, eklem hareket açıklığı, yaşam kalitesi, tedaviye uyum, memnuniyet ve maliyet/erişim sonuçları önceliklendirildi. Müdahalelerin belirgin heterojenliği nedeniyle yeni bir meta-analiz yapılmadı; bulgular klinik alanlara göre anlatı sentezi ile değerlendirildi.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Genel kas-iskelet sistemi kanıtı

Molina-Garcia ve arkadaşlarının 2024 tarihli sistematik derleme ve meta-analizi, kas-iskelet sistemi bozukluklarında telerehabilitasyonun etkinliği ve maliyet-etkinliğini değerlendirmiş ve uzaktan bakımın ağrı, fiziksel fonksiyon ve yaşam kalitesi gibi sonuçlarda klinik olarak uygulanabilir bir seçenek olabileceğini göstermiştir. Aynı yıl yayımlanan şemsiye derlemede 35 sistematik derleme değerlendirilmiş; tele-tıp ve telerehabilitasyonun hasta bildirimli sonuçlarda çoğunlukla geleneksel bakıma benzer ya da daha iyi sonuçlar verdiği, objektif fiziksel ölçümlerde ise sonuçların genellikle tele-tıp lehine veya eşdeğer olduğu bildirilmiştir. Bununla birlikte söz konusu şemsiye derlemede dahil edilen derlemelerin büyük bölümünün metodolojik kalitesinin düşük olduğu vurgulanmıştır (Molina-Garcia ve ark. 2024; Bargeri ve ark. 2024).

Bu genel bulgu, telerehabilitasyonun "yüz yüze tedavinin dijital kopyası" olarak değil, uygun hastada farklı temas yoğunluklarını birleştiren hibrit bir bakım modeli olarak ele alınmasını destekler. Özellikle kronik veya tekrarlayan kas-iskelet sistemi sorunlarında egzersizin haftalar-aylar boyunca sürdürülmesi gerektiğinden, uzaktan takip fiziksel kliniğe bağımlılığı azaltırken programın sürekliliğini artırabilir. Ancak bunun için dijital okuryazarlık, uygun cihaz ve internet erişimi, güvenli egzersiz alanı ve alarm bulgularını fark edebilecek klinik triage sistemi gereklidir.

3.2. Kronik kas-iskelet ağrısı ve farklı telerehabilitasyon modelleri

2025 tarihli ağ meta-analizi, kronik kas-iskelet ağrısında farklı telerehabilitasyon biçimlerini karşılaştırmış ve hem kendi kendine yönetilen rehabilitasyon uygulamalarının hem de videokonferans temelli rehabilitasyonun ağrı ve fonksiyonel özürlülük üzerinde olumlu etkiler gösterebildiğini bildirmiştir. Bu sonuç, "uzaktan bakım" başlığı altında farklı klinik mekanizmaların bulunduğunu düşündürür. Uygulama tabanlı programlar erişilebilirlik ve tekrar avantajı sağlarken, videokonferans terapistin hareket kalitesini gözlemlemesine, egzersizi anlık düzeltmesine ve progresyonu kişiselleştirmesine olanak verir (Zou ve ark. 2025).

Dolayısıyla platform seçimi hastanın ihtiyacına göre yapılmalıdır. Basit ve düşük riskli egzersizlerde asenkron içerik yeterli olabilirken, karmaşık hareket paternleri, yüksek korku-kaçınma, belirgin hareket kısıtlılığı veya ilerleyici yükleme gerektiren durumlarda senkron terapist teması daha uygun olabilir. Teknolojinin yararı, çoğu zaman klinik temasın tamamen ortadan kaldırılmasından değil, doğru düzeyde ve doğru zamanda sunulmasından kaynaklanır.

3.3. Bel ağrısında dijital egzersiz ve telerehabilitasyon

Bel ağrısı, telerehabilitasyonun en sık araştırıldığı kas-iskelet sistemi alanlarından biridir. 2025 tarihli sistematik derleme, telerehabilitasyon egzersizlerinin bel ağrısında ağrı, özürlülük ve yaşam kalitesi üzerinde yarar sağlayabileceğini; uygulamaların genel olarak güvenli ve uygulanabilir olduğunu bildirmiştir (Şimşek ve Ülger 2025). Bu sonuç, özellikle uzun süreli egzersiz ve öz-yönetim gerektiren kronik bel ağrısında dijital takip modelinin klinik açıdan anlamlı olabileceğini göstermektedir.

Bununla birlikte bel ağrısında "dijital egzersiz" tek tip bir tedavi değildir. Genel kuvvetlendirme, motor kontrol, esneklik, aerobik aktivite, eğitim ve davranışsal bileşenlerin

farklı kombinasyonları kullanılmaktadır. Bu nedenle teknoloji aracının kendisinden çok, sunulan egzersizin kanıta dayalı olması, yükün kademeli ilerletilmesi, hastanın semptom yanıtının izlenmesi ve korku-kaçınma davranışlarının ele alınması önemlidir. Sadece otomatik video listesi sağlayan bir program ile fizyoterapistin düzenli geri bildirim verdiği programın aynı başlık altında değerlendirilmesi klinik etkileri maskeleyebilir.

3.4. Omuz hastalıklarında telerehabilitasyon

Omuz hastalıklarında uzaktan rehabilitasyonun özellikle eklem hareket açıklığı ve fonksiyon üzerinde umut verici sonuçları vardır. Huang ve arkadaşlarının 2024 tarihli sistematik derleme ve meta-analizinde, telerehabilitasyonun ev egzersizine kıyasla omuz fleksiyonu, abdüksiyonu, dış ve iç rotasyon hareket açıklığı ile bazı fonksiyonel sonuçlarda daha iyi sonuçlar sağladığı; ağrı açısından genel farkın daha sınırlı olduğu bildirilmiştir. On iki haftadan uzun süren programlarda ağrı sonuçlarının daha belirgin olabildiği de rapor edilmiştir (Huang ve ark. 2024).

Bu bulgu, omuz rehabilitasyonunda terapist geri bildiriminin ve egzersiz progresyonunun önemini destekler. Özellikle skapular kontrol, glenohumeral hareket kalitesi ve yük toleransının izlenmesi gereken bireylerde video görüşmesi, egzersiz tekniğinin yalnızca yazılı veya önceden kaydedilmiş materyal ile verilmesine göre avantaj sağlayabilir. Bununla birlikte ciddi güç kaybı, travma, ilerleyici nörolojik bulgu veya cerrahi komplikasyon şüphesi gibi durumlarda yüz yüze değerlendirme geciktirilmemelidir.

3.5. Cerrahi sonrası ve diğer kas-iskelet durumları

Ortopedik cerrahi sonrası telerehabilitasyona ilişkin 2024 tarihli sistematik derleme ve meta-analiz, uzaktan fizyoterapinin seçilmiş hastalarda motor performans, ağrı ve fonksiyonel iyileşme açısından geleneksel rehabilitasyona alternatif olabileceğini göstermektedir (Morri ve ark. 2024). Diz ve kalça artroplastisi sonrası süreçler, egzersiz dozunun ve ev içi fonksiyonun düzenli izlenmesine uygun olduğundan telerehabilitasyon için elverişli alanlardır. Ancak yara değerlendirmesi, dolaşım komplikasyonları, ciddi şişlik veya enfeksiyon gibi fizik muayene gerektirebilecek durumlarda hibrit modele ihtiyaç vardır.

Kas-iskelet sistemi içinde hasta profili de önemlidir. Yeni başlangıçlı ve tanısı belirsiz semptomlarda uzaktan bakım öncelikle güvenli triage ve eğitim amacıyla kullanılabilirken, tanısı konmuş ve egzersiz planı net olan kronik durumlarda tedavinin daha büyük bir bölümü dijital olarak yürütülebilir. Böylece telerehabilitasyon, tüm hastalara aynı biçimde uygulanan bir model olmaktan çıkarak risk ve gereksinime göre ölçeklenen bir hizmet haline gelir.

3.6. Tedaviye uyum, hasta deneyimi ve erişilebilirlik

Dijital rehabilitasyonun önemli potansiyel yararlarından biri tedaviye erişimdir. Ulaşım güçlüğü, iş programı, coğrafi uzaklık veya bakım sorumlulukları nedeniyle kliniğe düzenli gelemeyen bireylerde uzaktan görüşme ve uygulama destekli egzersiz, tedavi sürekliliğini kolaylaştırabilir. Şemsiye derleme düzeyindeki kanıt, tele-tıp uygulamalarının çeşitli klinik sonuçlarda konvansiyonel bakıma benzer sonuçlar verebildiğini ve bazı değerlendirmelerde maliyetlerin daha düşük olduğunu bildirmektedir (Bargeri ve ark. 2024).

Bununla birlikte dijital müdahalelerin uyum üzerindeki etkisi otomatik değildir. Bildirim sıklığı, hedef belirleme, ilerleme grafikleri, fizyoterapist geri bildirimi, egzersiz videolarının anlaşılabilirliği ve kullanıcı arayüzünün sadeliği katılımı etkileyebilir. Yaş, teknoloji deneyimi, bilişsel durum, görme-işitme sorunları ve sosyoekonomik koşullar da dijital bakımın erişilebilirliğini belirler. Bu nedenle "dijital erişim var" ile "dijital bakım kullanılabilir" kavramları birbirinden ayrılmalıdır.

3.7. Sınırlılıklar ve klinik uygulamaya yönelik çıkarımlar

Güncel literatürün en önemli sınırlılığı, telerehabilitasyonun çok farklı müdahaleleri aynı şemsiye altında toplamasıdır. Bazı çalışmalarda yalnız egzersiz videoları sunulurken

bazılarında haftalık canlı görüşme, mesajlaşma, sensör geri bildirimi ve davranışsal destek birlikte uygulanmaktadır. Bu heterojenlik, hangi bileşenin asıl faydayı oluşturduğunu belirlemeyi güçleştirir. Ayrıca birçok çalışma kısa takip süresine sahiptir ve uzun dönem tedaviye uyum, nüks, işlevsel bağımsızlık ve sağlık hizmeti kullanımı yeterince değerlendirilmemiştir.

Klinik uygulamada telerehabilitasyon öncesi kırmızı bayraklar ve yüz yüze değerlendirme gereksinimi taranmalı; hastanın teknolojiye erişimi ve kullanım becerisi değerlendirilmelidir. Egzersiz programı standart bir dijital içerik olarak değil, hastanın semptom davranışı, fonksiyonel hedefi ve yük toleransına göre kişiselleştirilmelidir. Senkron ve asenkron yöntemler gerektiğinde birleştirilmeli; hasta ilerlemesi yalnız uygulamaya giriş sıklığıyla değil, ağrı, fonksiyon, hareket açıklığı ve gerçek yaşam aktivite hedefleriyle izlenmelidir.

Tablo 1. Kas-iskelet sistemi rehabilitasyonunda dijital egzersiz ve telerehabilitasyonun güncel klinik özeti

Alan / durum	Güncel kanıtın genel yönü	Klinik yorum
Genel kas-iskelet sistemi	Çoğu derlemede geleneksel bakıma benzer veya bazı sonuçlarda daha iyi PROM/fonksiyon sonuçları.	Uygun hasta seçimiyle erişilebilir bir bakım modeli; heterojenlik yüksek.
Kronik kas-iskelet ağrısı	Uygulama ve videokonferans tabanlı modeller ağrı ve özürlülüğü azaltabilir.	Teknoloji türü kadar terapist teması ve program içeriği önemli.
Bel ağrısı	Ağrı, özürlülük ve yaşam kalitesi için genel olarak olumlu; güvenli ve uygulanabilir.	Kanıta dayalı egzersiz + progresyon + öz-yönetim desteği birlikte düşünülmeli.
Omuz	ROM ve fonksiyonda ev egzersizine göre ek yarar; ağrı sonuçları daha değişken.	Canlı geribildirim hareket kalitesi ve progresyon için değerli olabilir.
Ortopedik cerrahi sonrası	Seçilmiş hastalarda yüz yüze bakıma alternatif/tamamlayıcı olabilir.	Komplikasyon riski varsa hibrit veya yüz yüze değerlendirme gerekli.
Uyum / erişim	Ulaşım ve zaman engellerini azaltabilir; uyum tasarıma bağlı.	Dijital okuryazarlık, kullanıcı dostu arayüz ve düzenli geri bildirim şart.

4. SONUÇ

Dijital egzersiz ve telerehabilitasyon, kas-iskelet sistemi rehabilitasyonunda erişimi artıran ve uzun süreli egzersiz takibini kolaylaştıran etkili bir tamamlayıcı bakım modeli olarak öne çıkmaktadır. Güncel sistematik derlemeler, özellikle bel ağrısı, omuz sorunları ve kronik kas-iskelet ağrısında ağrı, fonksiyon, hareket açıklığı ve yaşam kalitesi açısından olumlu veya yüz yüze bakıma benzer sonuçlar bildirmektedir. Bununla birlikte "telerehabilitasyon" tek bir müdahale değildir; terapist temas sıklığı, geri bildirim biçimi, egzersiz içeriği, program süresi ve dijital platformun özellikleri sonuçları belirgin biçimde etkiler. Bu nedenle dijital rehabilitasyonun yüz yüze fizyoterapinin koşulsuz alternatifi olarak değil, hasta güvenliği ve bireysel gereksinimlere göre senkron, asenkron ve yüz yüze bileşenlerin birleştirildiği esnek bir hizmet modeli olarak kullanılması en uygun yaklaşım görünmektedir.

REFERENCES

Molina-Garcia P, Mora-Traverso M, Prieto-Moreno R, Díaz-Vásquez A, Antony B, Ariza-Vega P. (2024). Effectiveness and cost-effectiveness of telerehabilitation for musculoskeletal disorders: A systematic review and meta-analysis. Annals of Physical and Rehabilitation Medicine, 67(1), 101791. doi:10.1016/j.rehab.2023.101791.

Bargeri S, Castellini G, Vitale JA, Guida S, Banfi G, Gianola S, Pennestrì F. (2024).

Effectiveness of telemedicine for musculoskeletal disorders: Umbrella review. Journal of Medical Internet Research, 26, e50090. doi:10.2196/50090.

Huang T, Zhang W, Yan B, Liu H, Girard O. (2024). Comparing telerehabilitation and home-based exercise for shoulder disorders: A systematic review and meta-analysis. Archives of Physical Medicine and Rehabilitation, 105(11), 2214–2223. doi:10.1016/j.apmr.2024.02.723.

Zou H, Liu M, Lu Z, Wang J, Zhao P. (2025). The relative efficacy of different types of telerehabilitation for managing chronic musculoskeletal pain: A systematic review with network meta-analysis. Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy, 55(11), 1–10. doi:10.2519/jospt.2025.13366.

Şimşek A, Ülger Ö. (2025). Effectiveness of telerehabilitation exercises in low back pain: A systematic review. Irish Journal of Medical Science, 194(5), 1903–1913. doi:10.1007/s11845-025-04051-x.

Morri M, Ruisi R, Culcasi A, Peccerillo V. (2024). The effectiveness of telerehabilitation for functional recovery after orthopedic surgery: A systematic review and meta-analysis. Telemedicine Reports, 5(1), 78–88. doi:10.1089/tmr.2023.0057.

ŞER‘İYYE SİCİLLERİNİN TÜRK-İSLAM SANATLARINA KATKILARI

Doç. Dr. Esra YILDIZ
Yalova Üniversitesi, İlahiyat Fakültesi, İslam Tarihi ve Sanatları, Yalova, Türkiye
ORCID: 0000-0002-1236-7446

ÖZET
Osmanlı şehirlerinin hukukî ve toplumsal hafızasını taşıyan Şer‘iyye Sicilleri, çoğunlukla tarih ve hukuk araştırmaları için başvurulan arşiv malzemesi olmakla birlikte, defter estetiği, yazı karakterleri, kâğıt dokusu, ebru ve mühür çeşitliliği bakımından Türk-İslam sanatlarının izlerini barındıran zengin bir görsel-somut kültür hazinesidir. Bu tebliğde, Şer‘iyye Sicil defterleri yalnızca içerdiği metinler üzerinden değil, fiziksel ve görsel özellikleri üzerinden okunmakta; defterler, hat, kâğıt ve ebru sanatı ile mühür sanatı açısından bir “sanat objesi” olarak ele alınmaktadır. Çalışmanın ilk aşamasında, İstanbul şeriyye sicillerindeki hat, tez, ebru, mühür, kâtı‘ı gibi sanatları incelenmiştir. Sicil defterlerinin özellikle kapak ve ciltlerinde kullanılan ebru ve kâğıt süsleme teknikleri oluşturmaktadır. Battal, gel-git, taraklı vb. ebru desenleriyle bezenmiş kapaklar; renk kullanımı, desen yoğunluğu ve kompozisyon anlayışı bakımından Türk ebru sanatının bürokratik defter estetiğine nasıl yansıdığını göstermektedir. Bu kapaklar, ebrunun yalnızca sanat atölyelerinde değil, mahkeme defterleri gibi gündelik-idarî malzeme üzerinde de tercih edilen bir süsleme tekniği olduğunu ortaya koymakta; böylece ebrunun sosyal dolaşım sahasına dair somut veriler sunmaktadır. Ebrunun yanı sıra, kimi defterlerde görülen cetvelli sayfa düzeni, kenar çizgileri ve satır aralıkları da kâtiplerin estetik kaygı taşıyan bir düzen anlayışına sahip olduklarını ispatlar niteliktedir. Üçüncü eksen, yazı karakterleri ve hat üsluplarıdır. Şer‘iyye Sicilleri’nde hüccet, i‘lâm, ilâm-ı şer‘î gibi belge türlerinin kaydında sıklıkla divânî ve siyâkat yazı karakterleri kullanılırken; yer yer nesih ve rik‘a türü yazıların da görüldüğü tespit edilmektedir. Divânî ve siyâkatin özellikle güvenlik, zapt ve hız fonksiyonu ön planda tutulmakla birlikte, harf istiflerinin dengesi, satır bütünlüğünün korunması ve nüshalar arası üslup sürekliliği, hattın bürokrasi içinde dahi bir estetik disiplin olarak yaşadığını göstermektedir. Bu çerçevede tebliğde, farklı şehir sicilleri üzerinden kâtip el alışkanlıkları, harf formundaki küçük farklılıklar ve bunların yerel yazı mekteplerine veya kâtiplerin aldığı eğitim çevrelerine işaret eden yönleri tartışılmaktadır. Böylece Şer‘iyye Sicilleri, bir tür paleografik atlas olarak da değerlendirilmektedir. Tebliğin temel hedefi, söz konusu defterlerin tarihçiler kadar Türk-İslam sanatları araştırmacılarının da sistematik biçimde başvurması gereken birincil bir kaynak olarak değerlendirilmesine metodolojik bir zemin hazırlamaktır.
Anahtar Kelimler: İslam Tarihi, Kadı Sicilleri, Ebru, Hat, Tezhip.

THE CONTRIBUTIONS OF ŞER‘İYYE SICILS TO TURKISH-ISLAMIC ARTS

ABSTRACT
The Sharīʿa Court Registers (Şerʿiyye Sicilleri), which preserve the legal and social memory of Ottoman cities, have generally been consulted as archival sources for historical and legal research. Yet, in terms of their manuscript aesthetics, scripts, paper textures, marbling (ebru), and variety of seals, these registers also constitute a rich repository of visual and material culture reflecting various aspects of Turkish-Islamic arts. This paper approaches the Sharīʿa Court Registers not merely through the texts they contain but also through their physical and visual characteristics, examining the registers as “art objects” from the perspectives of calligraphy, paper and marbling arts, and seal art. In the first stage of the study, artistic elements found in

the Istanbul Sharīʿa Court Registers, including calligraphy, illumination, marbling, seals, and paper-cutting (kaṭıʿ), are examined. Particular attention is devoted to the marbling and paper-decoration techniques employed on the covers and bindings of the registers. Covers decorated with various marbling patterns, such as battal, gel-git, and combed (taraklı) marbling, demonstrate how the Ottoman art of ebru was incorporated into the aesthetics of bureaucratic record-keeping in terms of colour, density of pattern, and compositional arrangement. These covers reveal that marbling was not confined to artistic workshops but was also employed as a decorative technique on everyday administrative materials, including court registers. They therefore provide tangible evidence for the broader social circulation and practical use of ebru. Alongside marbling, the ruled page layouts, marginal lines, and carefully arranged line spacing found in certain registers indicate that scribes adopted an orderly approach informed by aesthetic considerations. Another major focus of the paper is the variety of scripts and calligraphic styles represented in the registers. In recording document types such as ḥüccet, iʿlām, and iʿlām-ı şerʿī, scripts such as dīvānī and siyāqat were frequently employed, while examples of naskh and riqʿa can also be observed. Although functional concerns—particularly security, accurate record-keeping, and speed—were central to the use of dīvānī and siyāqat, the balanced arrangement of letter forms, the preservation of line integrity, and stylistic continuity across different registers demonstrate that calligraphy continued to function as an aesthetic discipline even within the bureaucratic sphere. Within this framework, the paper discusses scribal practices across court registers from different cities, focusing on subtle variations in letter forms and considering the extent to which these differences may point to local scribal traditions or the educational environments in which individual scribes were trained. In this respect, the Sharīʿa Court Registers may also be approached as a kind of palaeographic atlas of Ottoman scribal culture. Another significant focus of the paper is the diversity of seals and the art of seal design. The principal aim of this paper is to establish a methodological framework for approaching the Sharīʿa Court Registers as primary sources that should be systematically consulted not only by historians and legal historians but also by scholars of Turkish-Islamic arts.

Keywords: Islamic History, Sharia Court Registers, Marbling, Islamic Calligraphy, Manuscript Illumination.

Giriş

Osmanlı tarih yazımında şer‘iyye sicilleri uzun süre hukuk, şehir, iktisat ve toplum tarihinin başlıca kaynakları arasında değerlendirilmiştir. Kadı veya nâibi tarafından tutulan bu defterler, mahkemeye intikal eden uyuşmazlıkları, tarafların ikrarlarını, satış ve kira akitlerini, vakıf işlemlerini, tereke taksimlerini, merkezden gönderilen emirleri ve yerel idareye ilişkin çok çeşitli kayıtları bir araya getirmektedir. Bu geniş muhteva, sicilleri yalnızca hukukî olayların kronolojisini veren metinler olmaktan çıkarmakta; Osmanlı toplumunun nesnelerle, mekânlarla, üretim biçimleriyle ve estetik tercihlerle kurduğu ilişkiyi de görünür kılmaktadır. Buna rağmen sanat tarihi literatüründe sicillerin sistematik kullanımı, hukuk ve sosyal tarih alanlarındaki kullanımlarına kıyasla daha sınırlı kalmıştır.

Bu sınırlılığın önemli sebeplerinden biri, sanat tarihinin uzun süre ayakta kalan anıtsal yapılar, imzalı eserler, saray nakkaşhaneleri ve seçkin koleksiyonlar etrafında gelişmesidir. Oysa sanatın tarihsel gerçekliği yalnızca günümüze ulaşan nesnelerden ibaret değildir. Yıkılmış bir mescidin tamiri, bir evin ahşap bezemesi, bir hattatın terekesindeki kalem ve maktalar, bir kadının mirasındaki işlemeli kumaşlar, bir dükkânda satılan kâğıt türleri veya bir vakfın kandil ve şamdanları da estetik kültürün parçalarıdır. Şer‘iyye sicilleri tam da bu “kaybolmuş”, “gündelik” ve “dağılmış” sanat dünyasını yeniden kurmaya yarayan belgeler sunmaktadır.

Sicillerin Türk-İslam sanatları bakımından önemi iki katmanlıdır. İlk katmanda defterin kendisi bir sanat nesnesidir. Kâğıdın niteliği, cilt malzemesi, ebrulu yan kâğıtlar, serlevhalar, katı‘ etiketler, yazı türleri, mühürler ve sayfa tertibi; bürokratik bir kayıt nesnesinin aynı zamanda estetik tercihlerin taşıyıcısı olduğunu göstermektedir. İstanbul Kadılığı sicillerinin serlevhaları üzerine yapılan incelemeler, deri, cilt, ebru ve katı‘ gibi sanatların mahkeme defterlerinde bir araya gelebildiğini açık biçimde ortaya koymuştur. İkinci katmanda ise sicil metni sanatın toplumsal tarihini kaydetmektedir. Mimari yapıların inşa ve onarım süreçleri, usta ve işçi ücretleri, malzeme bedelleri, vakıf gelirleri, sanatkârların meslekleri, tereke eşyalarının nitelik ve fiyatları bu katmanın başlıca verileridir.

Bu makalede “katkı” kavramı, sicillerin sanat üretimine doğrudan etkisinden ziyade Türk-İslam sanatlarının tarihini yazmaya sağladığı kaynak katkısı anlamında kullanılmaktadır. Bununla birlikte defterlerin kendilerinde uygulanan ebru, cilt, hat ve katı‘ gibi sanatlar bakımından siciller doğrudan bir taşıyıcı ve koruyucu işlev de üstlenmiştir. Çalışma, mevcut literatür ile sicillerin diplomatik özelliklerini birlikte değerlendirerek şu sorulara cevap aramaktadır: Şer‘iyye sicilleri hangi sanat dallarının tarihini aydınlatabilir? Defterlerin fiziksel özellikleri Türk kitap sanatları açısından nasıl okunmalıdır? Sicil kayıtları kaybolmuş mimari ve sanat eserlerini hangi ölçüde görünür kılmaktadır? Tereke ve vakıf kayıtları estetik tüketim ve sanat piyasası hakkında ne söylemektedir? Son olarak bu kaynakların sanat tarihi araştırmalarında kullanılmasının metodolojik sınırları nelerdir?

1. Şer‘iyye Sicillerinin Kaynak Niteliği ve Sanat Tarihine Açılan Alan

Şer‘iyye sicilleri, merkez ve taşrada toplumun farklı tabakalarının mahkemeyle temasını kaydeden defterlerdir. Sicillerde hüccet, i‘lâm, tereke, vakfiye sureti, narh, ferman, berat ve çeşitli idarî yazışmalar bulunmaktadır. Defterlerin şekli ve içeriği dönemlere ve mahkemelere göre değişmekle birlikte, Osmanlı hukuk düzeninin yerel düzeyde nasıl işlediğini göstermeleri bakımından benzersizdir. Tanzimat sonrasında mahkemelerin görev alanlarında meydana gelen değişiklikler sicillerin muhtevasına ve diplomatik özelliklerine de yansımıştır. Bu durum, sanat tarihçisi için de önemlidir; çünkü belirli bir sanat veya zanaatla ilgili kaydın görünürlüğü, kurumların yetki alanlarıyla yakından ilişkilidir (Aydın, 2003, s. 341-344).

Sanat tarihi açısından sicillerin kaynak değerini başlıklar altında toplamak mümkündür. Birincisi “nesne bilgisi”dir. Tereke kayıtları evlerde, dükkânlarda ve konaklarda bulunan halı, kilim, seccade, kumaş, mücevher, silah, kap-kacak, yazma eser, levha ve yazı takımı gibi nesneleri isimleri ve çoğu zaman kıymetleriyle kaydetmektedir. İkincisi “üretim bilgisi”dir. Usta, kalfa, çırak, dükkân, lonca, narh, malzeme ve ücret kayıtları sanat ve zanaat üretiminin ekonomik çerçevesini göstermektedir. Üçüncüsü “mekân bilgisi”dir. Ev, cami, mescid, tekke, hamam, han, dükkân, çeşme, köprü ve benzeri yapıların konumları, komşulukları, onarımları ve mülkiyet ilişkileri mimarlık tarihine veri sağlamaktadır (Akgündüz, 1986; Işık, 2019, s. 234; Işık, 2019, 43; Özdemir, 1986).

Bu üç bilgi türü birlikte okunduğunda sanat eseri, soyut bir üslup nesnesi olmaktan çıkmakta ve toplumsal ilişkiler ağı içinde anlam kazanmaktadır. Örneğin bir seccadenin terekedeki fiyatı tek başına estetik değerini belirlemez; fakat aynı evdeki diğer tekstil ürünleriyle, miras bırakanın statüsüyle ve dönemin rayiçleriyle karşılaştırıldığında tüketim kültürüne ilişkin güçlü ipuçları verir. Benzer biçimde bir caminin tamir kaydı, sadece yapının onarıldığını bildirmez; kullanılan taş, ahşap, kurşun, kireç ve işçilik türleri üzerinden dönemin yapı teknolojisini ve malzeme ekonomisini de yansıtır (Atabey, 2014).

Şer‘iyye sicillerinin bir diğer üstünlüğü, sanat tarihinin merkez-taşra ayrımını sorgulamaya imkân vermesidir. Saray ve başkent merkezli belgeler seçkin üretimi ayrıntılı biçimde gösterirken, yerel siciller küçük şehirlerdeki ustaları, mahalle mescidlerini, ev içi süslemeyi ve sıradan tüketicinin sahip olduğu sanat eşyalarını görünür kılmaktadır. Böylece Türk-İslam

sanatlarının yalnızca "şaheserler tarihi" değil, gündelik estetik pratiklerin de tarihi olduğu anlaşılmaktadır. Bu yaklaşım, sanatın toplumsal yayılımını, taklit ve yerelleşme süreçlerini, malzemenin bölgesel dolaşımını ve farklı gelir gruplarının estetik tercihlerindeki çeşitliliği incelemeye elverişlidir (Ceyhan, 2011, s. 49-82).

Sanat tarihi araştırmasında kaynak hiyerarşisi kurulurken görsel nesnenin birincil, yazılı belgenin ikincil kabul edilmesi her zaman isabetli değildir. Günümüze ulaşan nesne, üretildiği tarihsel bağlamın yalnızca bir parçasını taşımaktadır. Sicil ise nesnenin mülkiyet, fiyat, kullanım ve ihtilaf bağlamını kaydedebilmektedir. Bu nedenle maddî eser ile hukukî kayıt birbirinin alternatifi değil, tamamlayıcısıdır. Özellikle eserin ortadan kalktığı durumlarda metin, kayıp nesnenin tarihsel varlığının başlıca deliline dönüşmedir (Denktaş, 2005, s. 55-56). Siciller ayrıca sanatın dolaşımını izleme imkânı vermektedir. Bir eşyanın satış, miras, hibe veya vakıf yoluyla el değiştirmesi, sanat nesnesinin sabit değil hareketli bir varlık olduğunu göstermektedir. Bu hareketlilik, zevklerin ve tekniklerin yayılmasına ilişkin dolaylı veriler üretmektedir. Bir şehirde menşe adıyla anılan bir kumaşın veya eşyanın tekrarlanması, ticaret ağları ile estetik tercihler arasındaki ilişkiyi araştırmaya açmaktadır (Yıldız, 2023, s. 1970-1975).

2. Sicil Defterinin Bir Sanat Nesnesi Olarak Değeri

Şer'iyye sicillerinin Türk-İslam sanatlarına ilk ve en somut katkısı, bizzat defter formunda ortaya çıkmaktadır. Mahkeme sicili öncelikle işlevsel bir kayıt aracıdır; fakat Osmanlı yazı ve kitap kültüründe işlev ile estetik birbirini dışlayan kategoriler değildir. Defterin ciltlenmesi, kâğıdının seçilmesi, başlık alanının düzenlenmesi, yazının satıra yerleştirilmesi ve resmî mühürlerin konumu, bürokratik düzen ile görsel kültür arasındaki ilişkiyi göstermektedir (Denktaş, 2005, s. 58-66).

Sicil defterleri, genellikle dar ve uzun ölçülerdedir, sayfa sayıları ve kayıt yoğunluğu değişkenlik göstermekte ve kayıtlar rik'a, ta'lik veya divanî gibi yazılarla kaleme alınabilmektedir. Bu çeşitlilik, sicillerin paleografi kadar hat tarihi bakımından da karşılaştırmalı bir malzeme oluşturduğunu göstermektedir. Mahkeme kâtibinin amacı bir hattat gibi sanat eseri üretmek değildir; ancak yazının kurumsal bir disiplin içinde nasıl gündelikleştiğini, hız ve okunabilirlik ihtiyacının harf biçimlerini nasıl etkilediğini siciller üzerinden takip etmek mümkündür (Akyıldız, 2006, s. 407-418).

Defterlerin dış ve iç kapaklarında kullanılan deri, mukavva, kumaş ve ebrulu kâğıtlar, kitap sanatlarının "yüksek" örnekleriyle gündelik bürokratik kullanım arasındaki geçişkenliği ortaya koymaktadır. Arşiv defterleri üzerinde yapılan güncel ebru araştırmaları, tarihlenebilir defterlerin ebru tarihinin kronolojisini yeniden düşünmek için önemli bir veri alanı sunduğunu göstermektedir. Bu bulgu doğrudan bütün şer'iyye sicillerine teşmil edilemez; ancak tarihli defterlerin ebru kâğıtlarının tarihlendirilmesinde sağlayabileceği metodolojik avantajı açıkça ortaya koymaktadır. Bir ebrunun sonradan ciltleme sırasında eklenmiş olabileceği ihtimali ise mutlaka dikkate alınmalıdır. Sicil defterlerinin maddî yapısının korunmuş olması, kitap sanatları tarihinin yalnızca mushaflar, murakka'lar ve edebî yazmalar üzerinden değil, idarî-hukukî defterler üzerinden de yazılabileceğini göstermektedir. Bu açıdan siciller, sanatın gündelik kurumlarda nasıl kullanıldığına dair "orta ölçekli" örneklerdir. Gösterişli saray ciltleri ile tamamen yalın hesap defterleri arasında yer alan mahkeme sicilleri, Osmanlı estetik anlayışının resmî hayatın sıradan nesnelerine kadar nüfuz edebildiğini kanıtlamaktadır (Işık, 2019, 233-243; Ovalıoğlu, 2007).

3. Hat Sanatı, Paleografi ve Yazı Kültürü

Hat sanatı, İslam medeniyetinde dinî, ilmî ve idarî yazı kültürünün merkezî unsurlarından biridir. Şer'iyye sicilleri ise hattın gündelik bürokratik yüzünü göstermesi bakımından özel bir yere sahiptir. Sicillerde görülen yazılar çoğu zaman süratli kayıt ihtiyacına cevap vermektedir;

bu nedenle sanat değeri yüksek bir kıta veya mushaf hattıyla aynı ölçütlerle değerlendirilmemelidir. Bununla birlikte harflerin biçimi, satır düzeni, başlıkların vurgulanması, farklı belge türlerinde yazının değişmesi ve merkezden gelen belgelerin sicile aktarılış tarzı, Osmanlı yazı kültürünün kurumsal çeşitliliğini göstermektedir (Derman, 2013, 475-494).

Siciller, hattın yalnızca usta hattatların elinde değil, geniş bir kâtipler zümresinin meslekî pratiğinde nasıl yaşadığını belgelemektedir. Bu durum "sanat" ile "zanaat" arasındaki geçirgenliği anlamak açısından önemlidir. Bir mahkeme kâtibinin yazısı estetik iddia taşımayabilir; fakat aynı yazı geleneği, harf oranları, kalem kullanımı ve istif alışkanlıkları bakımından klasik hat kültürünün içinde şekillenmektedir. Böylece siciller, hat sanatının sosyal tabanını ve yazı eğitiminin kurumsal sonuçlarını gösteren seri kaynaklara dönüşmektedir (Alparslan, 2016).

Özellikle serlevhalarda ve başlangıç formüllerinde yazının görsel etkisi artmaktadır. Esmâ-i hüsnâ, besmele, hamdele ve dua kalıplarının sayfa başında konumlandırılması, metne hem dinî meşruiyet hem de görsel hiyerarşi kazandırmaktadır. İstanbul Kadılığı sicilleri üzerine yapılan araştırma, Tanzimat öncesi ve sonrası serlevha formüllerinde değişiklikler bulunduğunu, başlangıçlarda Allah'ın isimlerinin ve besmelenin farklı kalıplarla kullanıldığını göstermektedir. Bu değişim, hat ve tezyinatın yalnızca biçimsel değil, zihniyet ve kurum tarihiyle ilişkili olduğunu ortaya koymaktadır (Yıldız, 2023).

Siciller paleografik tarihlendirme açısından da kıymetlidir. Tarihi belli kayıtların yazı karakterleri, tarihsiz belgelerin yaklaşık dönemini belirlemede karşılaştırma malzemesi sunabilir. Aynı mahkemenin uzun bir zaman dilimine yayılan defterleri, yazı biçimindeki dönüşümü seri halinde izleme imkânı verir. Bu bakımdan siciller, tekil sanat eserlerinin üslup analizini destekleyen kronolojik bir laboratuvar işlevi görebilir. Hat tarihi açısından bir başka katkı, terekelerde hattatlara, yazı levhalarına, kalemdanlara, divitlere, maktalara, hokka ve mürekkep malzemelerine rastlanabilmesidir. Bu tür kayıtlar yazının maddî altyapısını ortaya çıkarmaktadır. Hattın estetik bir sonuç olduğu kadar belirli araçlara, malzemelere, eğitime ve ekonomik imkâna bağlı bir üretim faaliyeti olduğu anlaşılmaktadır. Arşiv belgelerinin hattatların devlet tarafından teşvik edilmesi ve takdir edilmesi gibi konularda yeni veriler sağlayabildiği de yakın tarihli çalışmalarla gösterilmiştir. Siciller bu genel arşiv malzemesini yerel ve bireysel ölçekte tamamlayabilecek potansiyele sahiptir (Özönder, 2003).

Mahkeme defterlerinde farklı ellerin tespiti, kâtiplik teşkilatının çalışma biçimini anlamaya da yardımcı olmaktadır. El değişiklikleri görev değişimi, vekâlet veya kayıt yoğunluğuyla ilişkili olabilir. Yazının büyüklüğü, satır aralığı ve kısaltma alışkanlıkları, kâtibin eğitimini ve defter ekonomisini yansıtmaktadır. Bu nedenle paleografik inceleme yalnızca "hangi hat türü?" sorusuyla sınırlanmamalı; yazının üretim hızı, mekân kullanımı ve kurumsal işlevi de değerlendirilmelidir.

Sicil yazısının estetik değeri, kusursuzlukta değil süreklilikte aranmalıdır. Yüzlerce yıl boyunca farklı şehirlerde benzer hukukî formüllerin yazıyla tekrar edilmesi, Osmanlı yazı kültürünün olağanüstü bir kurumsal devamlılık ürettiğini göstermektedir. Hat sanatının toplumdaki itibarı, bu geniş yazı pratiğinin kültürel zemininden bağımsız düşünülemez.

4. Serlevha, Katı' ve Sayfa Tasarımı

Şer'iyye sicillerinde serlevha, defterin işlevsel başlangıç alanı olmanın ötesinde görsel bir eşiktir. Defteri açan kişi burada mahkemenin kimliğini, kadının adını, tarih aralığını veya dinî başlangıç formüllerini görebilmektedir. Bazı örneklerde kapağa yapıştırılan bilgi etiketlerinin katı' tekniğiyle kesilmiş kâğıtlar üzerine hazırlanması, mahkeme bürokrasisinin kitap sanatlarıyla temasını açıkça ortaya koymaktadır. Katı' sanatının sicil gibi kullanım yoğunluğu yüksek defterlerde görülmesi, bu sanatın yalnızca albüm ve seçkin yazma süslemelerine mahsus

olmadığını düşündürmektedir (Çağman, 2022, s. 32-35).

Serlevha düzeni aynı zamanda bir bilgi mimarisidir. Başlığın konumu, boşluk kullanımı, satırların yoğunluğu ve kayıt başlangıçlarının ayrıştırılması, okuyucunun defter içinde yönelmesini sağlamaktadır. Modern grafik tasarım kavramlarıyla ifade edilecek olursa burada bir görsel hiyerarşi kurulmaktadır. Bu hiyerarşi tamamen süsleme amacı taşımasa bile estetik sonuç üretmektedir. Osmanlı belge kültüründe biçim ile otorite arasındaki ilişki, tuğra, mühür ve hat gibi unsurlarda belirgindir; sicil serlevhası da daha mütevazı ölçekte aynı temsil mantığının parçasıdır. Serlevhalardaki dinî ifadeler, sanat tarihinin ikonografik ve semantik yaklaşımı açısından da değerlendirilebilir. Esmâ-i hüsnânın seçimi, adalet fikriyle ilişkilendirilen isimlerin öne çıkması, mahkeme defterinin hukukî işleviyle dinî dil arasında anlamlı bir bağ kurar. Böylece süsleme veya güzel yazı, metnin anlamından bağımsız değildir. Görsel biçim, mahkemenin ilahî adalet idealine bağlılığını sembolik düzeyde pekiştirir (Yıldız, 2023, s. 1968).

Bu alanın sistematik incelenmesi için serlevhaların yüksek çözünürlüklü görüntülerinin karşılaştırılması, kesilmiş kâğıtların motif repertuvarının sınıflandırılması, renk ve malzeme analizlerinin yapılması ve tarihlendirilmiş örneklerin kronolojik dizilere dönüştürülmesi gerekir.

5. Ebru Sanatı ve Sicil Ciltleri

Ebru, Osmanlı kitap sanatlarının en karakteristik kâğıt bezeme tekniklerinden biridir. Yazma eserlerin yan kâğıtlarında, murakka'larda, cilt içlerinde ve çeşitli defterlerde kullanılan ebrular, hem estetik hem koruyucu bir işleve sahiptir. Şer'iyye sicillerinde ebrulu kâğıtların bulunması, ebrunun bürokratik defter kültüründeki dolaşımını göstermesi bakımından önem taşımaktadır. Bu örnekler, saray veya koleksiyon için üretilmiş seçkin ebruların dışında, kullanım bağlamı belirli ve çoğu zaman tarihlenebilir malzeme sunmaktadır (Altıntaş, 2002).

Ebru tarihinin temel sorunlarından biri tarihlendirmedir. Bir ebrunun üzerinde çoğu zaman sanatçı adı veya tarih bulunmaz. Osmanlı Arşivi'ndeki erken dönem defterler üzerine yapılan çalışma, bazı ebruların geriye dönük kullanıldığını ortaya koyarak defter tarihi ile ebru tarihinin otomatik biçimde özdeşleştirilmemesi gerektiğini göstermiştir. Bu metodolojik uyarı şer'iyye sicilleri için de geçerlidir (Enver, 1994).

Bununla birlikte siciller, geniş seri oluşturmaları sayesinde ebru motiflerinin yaygınlaşmasını ve değişimini izlemek için önemli bir veri tabanı oluşturabilir. Battal, gel-git, taraklı ve benzeri tekniklerin hangi dönem ve bölgelerde görüldüğü; renk tercihleri; kâğıt kalitesi; ebrunun dış kapak, iç kapak veya yan kâğıt olarak kullanımı karşılaştırılabilir. Aynı mahkemenin ardışık defterlerinde benzer ebruların görülmesi, yerel bir ciltçi veya kâğıt tedarik zinciri ihtimalini gündeme getirebilir. Ebrunun sicildeki varlığı ayrıca estetik demokratikleşme açısından yorumlanabilir. Ebru yalnızca padişah albümünün veya kıymetli bir divanın süslemesi değildir; mahkeme defterinin iç kapağında da varlık göstermektedir. Bu durum, Osmanlı estetik repertuvarının bürokratik gündelik hayata nüfuz ettiğini ve sanatın kullanım nesneleri üzerinden geniş bir toplumsal alana yayıldığını göstermektedir (Tiryaki 2000).

Ebrulu kâğıdın mahkeme defterinde kullanılması, atölye üretiminin tüketim kanallarına dair sorular da doğurmaktadır. Ebrular doğrudan ciltçi tarafından mı hazırlanmış, piyasadan hazır mı alınmış, yoksa başka bir yazmadan devşirilmiş midir? Aynı desen ve kâğıt özelliklerinin farklı kurumsal defterlerde görülmesi, üretim ile tedarik arasındaki ilişkileri aydınlatabilir. Bu nedenle ebru incelemesinde motif kadar kâğıdın lif yapısı, boya özellikleri ve ciltteki yapıştırma tekniği de önemlidir.

6. Cilt Sanatı, Malzeme ve Koruma Kültürü

Cilt, yazılı malzemeyi koruyan teknik bir unsur olduğu kadar Türk-İslam kitap sanatlarının temel dallarından biridir. Şer'iyye sicilleri yoğun kullanıma açık defterler olduğundan, cildin

dayanıklılığı özel önem taşımaktadır. Deri kapaklar, mukavva, bez, kâğıt kaplamalar ve tamir izleri, defterin kullanım ömrü ve arşivlenme süreci hakkında bilgi vermektedir. Bu bakımdan sicil ciltleri, seçkin yazma ciltlerinden farklı bir işlevsel estetiği temsil etmektedir (Denktaş, 2005).

Sicillerdeki ciltlerin incelenmesi, yerel ciltçilik tarihi açısından da önemlidir. Bir şehirde mahkeme defterlerinin kim tarafından ciltlendiği her zaman kayıtlara yansımasa da malzeme, teknik ve motif benzerlikleri yerel atölye geleneklerini düşündürebilir. Özellikle ardışık yıllara ait defterlerde benzer sırt yapısı, kapak ölçüsü, deri rengi veya ebru kullanımı görülmesi, standartlaşmış bir tedarik pratiğine işaret edebilir (Yıldız, 2023).

Cilt üzerindeki yıpranma ve tamirler de sanat tarihi için "negatif" değil, tarihsel veridir. Yeniden ciltleme, eski kapağın başka bir defterde kullanılması, ebrulu kâğıdın sonradan eklenmesi veya sayfaların yer değiştirmesi, nesnenin biyografisini ortaya koyar. Nitekim sicillerde kronolojik düzensizliğin sebepleri arasında sayfaların muhafaza yerlerinden çıkarılırken yeniden ciltlenmesi de zikredilmektedir. Konservasyon açısından siciller, geleneksel cilt malzemelerinin yaşlanma davranışını incelemek için de geniş bir örneklem sunmaktadır. Derinin çatlaması, kâğıdın asitlenmesi, mürekkebin korozyonu, nem ve biyolojik hasar gibi sorunların belgelenmesi; hem arşiv korumacılığına hem tarihî kitap sanatlarının malzeme bilgisine katkı sağlamaktadır. Böylece şer'iyye sicilleri, sanat tarihinin yanında koruma-restorasyon disiplininin de araştırma alanına girmektedir (Şer'iyye Sicilleri Arşivi (SŞA). İstanbul Kadılığı Mahkemesi (İKM), No. 1-335).

SONUÇ

Şer'iyye sicilleri, Osmanlı hukuk düzeninin temel kayıt serilerinden biri olmakla birlikte, Türk-İslam sanatları tarihi bakımından henüz bütün imkânlarıyla değerlendirilmiş değildir. Bu çalışma, sicillerin sanat tarihine katkısını birkaç ana düzlemde ortaya koymuştur. Birinci düzlemde sicil defterinin kendisi, hat, kâğıt, cilt, ebru, katı', serlevha, mühür ve sayfa tasarımı gibi unsurları bünyesinde taşıyan maddî bir kültür nesnesidir. İkinci düzlemde sicil metni; mimari, vakıf, sanatkâr, esnaf, tereke, tekstil, maden, ahşap ve gündelik kullanım eşyaları hakkında sunduğu kayıtlarla sanatın sosyal ve ekonomik tarihini görünür kılmaktadır.

Şer'iyye sicillerinin diğer arşiv kaynaklarından ayrılan temel özelliği, sanat ve maddî kültür verisini olağan hayatın hukukî akışı içinde kaydetmesidir. Saray defterleri çoğunlukla merkezî siparişleri, büyük harcamaları ve seçkin üretimi; sanatçı tezkireleri ise tanınmış isimleri öne çıkarmaktadır. Sicillerde ise nesne çoğu zaman sanat olduğu için değil, satıldığı, miras kaldığı, vakfedildiği, tamir edildiği veya ihtilafa konu olduğu için kayda girmektedir. Tam da bu sebeple kaynak, araştırmacının estetik değer yargısından görece bağımsız bir tarihsel örneklem üretmektedir.

Bu özellik, sanat tarihindeki seçilim problemini azaltmaktadır. Bugün müzede bulunan eserler dayanıklılık, koleksiyon tercihi ve tarihsel tesadüflerin sonucunda korunmuştur. Mahkeme kaydı ise fiziksel olarak kaybolmuş nesnelerin geçmişteki varlığını kanıtlamaktadır. Böylece "korunmuş olan" ile "tarihsel olarak mevcut olan" arasındaki fark görünür hale gelmektedir. Türk-İslam sanatlarının gerçek toplumsal hacmi ancak bu fark hesaba katıldığında daha doğru değerlendirilebilir.

Sicillerin bir diğer özgünlüğü, aynı kayıt içinde insan, nesne, fiyat, mekân ve hukukî işlemi bir araya getirmesidir. Bir tereke kaydı yalnızca halının adını değil sahibini ve diğer mallar arasındaki yerini; bir tamir kaydı yalnızca yapıyı değil müdahalenin sebebini ve maliyetini; bir dükkân satışı yalnızca mekânı değil üreticinin ekonomik ilişkilerini gösterebilmektedir. Bu çok değişkenli yapı, sanat tarihini tekil eser çözümlemesinden ilişkisel tarihe taşımaktadır.

Ayrıca siciller süreklilik gösteren seri kaynaklardır. Aynı mahkemeye ait onlarca veya yüzlerce defter, bir değişimi birkaç seçkin örnek üzerinden değil uzun dönemli eğilimler üzerinden

izlemeyi mümkün kılmaktadır. Ebru kullanımının artması veya azalması, belirli bir eşya adının yaygınlaşması, yeni malzemelerin görünmesi ya da zanaatkârların mahalle dağılımının değişmesi bu seri yapı sayesinde araştırılabilir.

Bu nedenle şer'iyye sicillerinin Türk-İslam sanatlarına katkısı, tek tek "sanatla ilgili belge" bulmaktan daha kapsamlıdır. Siciller, sanatın hukukî ve toplumsal ekolojisini yeniden kurmaya yarayan bir kaynak sistemi sunmaktadır. Defterin kendisi ile defterin anlattığı dünya birlikte okunduğunda, Osmanlı estetik kültürü hem görsel nesne hem yaşanan pratik olarak kavranabilir.

Kaynakça

Akgündüz, Ahmet, Şer'iye Sicilleri, İstanbul, 1988, C.I, s. 11-17.

Akyıldız, A. (2006). "Tanzimat Döneminde Belgelerin Şekil, Dil ve Muhteva Yönünden Geçirdiği Bazı Değişiklikler (1839-1956)". Tanzimat Değişim Sürecinde Osmanlı İmparatorluğu Ed. Halil İnalcık-Mehmet Seyitdanlıoğlu. Ankara: İş Bankası yayınları, 407-418.

Alparslan, A. (2016). Osmanlı Hat Sanatı Tarihi, Yapı Kredi Kültür Sanat Yayıncılık, İstanbul.

Arıtan, A. S. (2002). "Türk Ebru Sanatı". Türkler 12.cilt. Ankara.

Atabey, H. (2014). Manisa'nın 79 Numaralı Şer'iyye Sicil Defteri (H. 1049-1050) Transkripsiyonu ve Değerlendirilmesi. Ankara: Ankara Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.

Aydın, M. A. (2003). "Mahkeme". Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi. 27/341-344. İstanbul: TDV Yayınları.

Ceyhan, M. (2011). "Tanzimat Dönemi Sonrası Şer'iyye Sicil Defterlerinin Muhteva ve Diplomatik Açıdan Tahlili". OTAM Ankara Üniversitesi Osmanlı Tarihi Araştırma ve Uygulama Merkezi Dergisi 29/29 (Mart 2011), 49-82.

Çağman, F. (2022). "Katı'". Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi. 25/32-35. İstanbul: TDV Yayınları.

Denktaş, M. (2005). Şer'iyye Sicil Defterleri'nin Sanat Tarihi Araştırmalarındaki Önemi (Kayseri Ölçeği). *Erciyes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 1*(18), 51-66. https://izlik.org/JA96WM47KP

Derman. M. U. (2013). "Osmanlı İstanbul'unda Hat Sanatı" Osmanlı İstanbulu-I Ed. Feridun M. Emecen-Emrah Safa Gürkan İstanbul: 29 Mayıs Üniversitesi Yayınları-İstanbul Büyükşehir Belediyesi Kültür A.Ş. 475-494. https://osmanliistanbulu.org/tr/images/osmanliistanbulu-1/26_ugur-derman.pdf.

Işık, A. (2019). "Şeyhülislâmlık Binalarının Yapımı Şeyhülislâmlığın Dinî ve Hukukî Bir Kompleks Haline Dönüşmesi". Ed. Ayhan Işık-Kamil Büyüker. Ankara: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları, 43-53.

Işık, A. (2019). "Şer'iyye Sicilleri Arşivi", Ağa Kapısından Şeyhülislamlığa İstanbul Müftülüğü, Ed. Ayhan Işık-Kamil Büyüker. Ankara: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları, 233-243.

Ovalıoğlu, İ. (2007). Arşivin Rengi Osmanlı Belgelerinde Ebru ve Etiket İstanbul: Türkiye İş bankası Yayınları.

Özdemir, R. (1986). "Şer'iyye Sicillerinin Sosyo-Ekonomik Tarih ve Halk Kültürü Açısından Önemi", I. Battalgazi ve Malatya Çevresi Halk Kültürü Sempozyumu Tebliğler, (Malatya, 1986), 179-187.

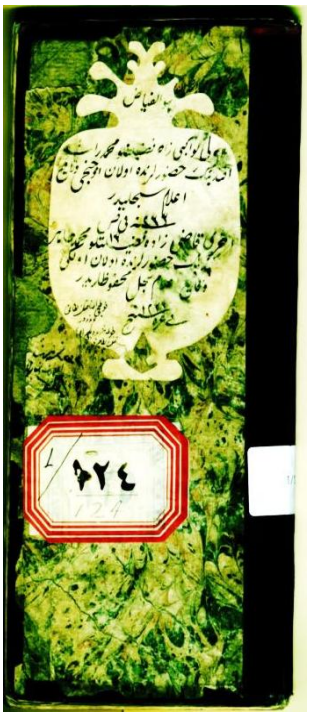
Özönder, H. (2003). Hat ve Tezhip Sanatları Deyimleri, Terimleri Sözlüğü, Sebat Ofset Matbaacılık, Konya.

Tiryaki, Y. (2000). Türk Ebru Sanatı. İstanbul: Gözen Yayınları.

Yıldız, E. (2023). Şer'iyye Sicillerinin Serlevhaları -İstanbul Kadılığı Şer'iyye Sicilleri

Özelinde-. *İnsan Ve Toplum Bilimleri Araştırmaları Dergisi*, *12*(3), 1965-1988. https://doi.org/10.15869/itobiad.1300040

EKLER: Şeriyye Sicillerinden Türk İslam Sanatlarına Örnekler
İstanbul Kadı Sicillerinin Cilt Kapaklarına Örnek-I (ŞSA, İKM, No. 124)





Hüve'l-Feyyâz
Evveli Kevâkibîzâde Faziletlü Mehmed Râşid Efendi'nin huzurlarında olan üçüncü vekâyi'-i i'lâm sicilidir. Fî 13 S [Safer] sene [1]233/[23 Aralık 1817].
Âhiri Kadızâde Faziletlü Mehmed Tahir Efendi'nin huzurlarında olan evvelki vekâyi'-i i'lâm sicill-i mahfûzlarıdır. Fî Gurre-i C [Cemâziyelâhir] sene 1233/[8 Nisan 1818].
1233/[1818] senesi i'lâmât-ı İstanbul Kadılığı

İstanbul Kadılığı Mahkemesinin 124 numaralı sicil defteri, Allah'ın Feyyâz (Feyyâz: Bereket ve bolluk veren) ismiyle başlamaktadır. Sicilin cilt kapağında İstanbul Kadısı Kevâkibîzâde Mehmet Râşid Efendi'nin 23 Aralık 1817 tarihinde ve Kadızâde Mehmet Tahir Efendi'nin ise 8 Nisan 1818 tarihinde tuttuğu sicil defterinin i'lâm sicili (Akgündüz, 2000, 22/72-73) olduğu yazılmıştır. Ayrıca cilt kapağında önemine binaen bazı esnafların nizamı ile ilgili notlar düşülmüştür.

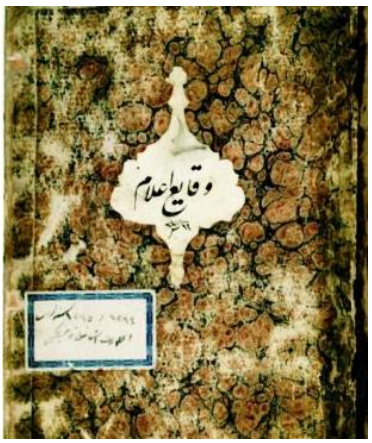
İstanbul Kadılığı Sicillerinin çoğu, cilt çeşitlerinden çaharkuşe adı verilen ciltlerden oluşmaktadır. Ön ve arka kapakların geniş bir kısmı ebru ile kaplanmış, kapak kenarları ile sırtı deriden oluşmaktadır. Bazı sicillerin kapaklarında yer alan ebruların kapak içine kadar sıvama şeklinde geldiği görülmektedir (Tiryaki, 2018, 161-164).

İstanbul Kadılığı Mahkemesinin 124 numaralı sicil defteri, çaharkuşe ciltli şal ebru desenli kapaklardan oluşmaktadır. Defter kapağına yapıştırılmış katı' sanatlı etiketin üzerinde sicili tutan kadı'nın ismi, sicilin tarihi ve çeşidiyle ilgili bilgiler yer almaktadır. Bu sicil, oluşturulduğu tarihlerde çok sık kullanıldığından tahrip olmuş ve ebrularının renkleri solmuştur.[1]

[1] Şer'iyye Sicilleri Arşivi'ndeki sicillerin ihtivâ ettiği Türk İslam Sanatları ile ilgili bilgiler, Meşihat Arşivi'nde görevli kâğıt restoratörü Merve Er'den alınmıştır.

İstanbul Kadı Sicillerinin Cilt Kapaklarına Örnek-II (ŞSA, İKM, No. 189)





Vekâyî‘-i i‘lâm fî 12 Ş [Şaban] [12]64/[14 Temmuz 1848].
1264 ve 1265 seneleri i‘lâmât-ı İstanbul Kadılığı

İstanbul Kadılığı Mahkemesinin 189 numaralı sicil defterinin cilt kapağında 1848-1849 yıllarına ait i‘lâm sicili olduğu yazılmıştır. Bu sicilin cildi, neftli battal desenli ebru ile sıvanmış çaharkuşe bir cilttir. Katı‘ sanatlı olan etiketin formu tepelik şeklindedir. Her bir etiket formu tasarım olarak diğerlerinden farklı olarak düzenlenmiştir.

İstanbul Kadı Sicillerinin Cilt Kapaklarına Örnek-III (ŞSA, İKM, No. 70)

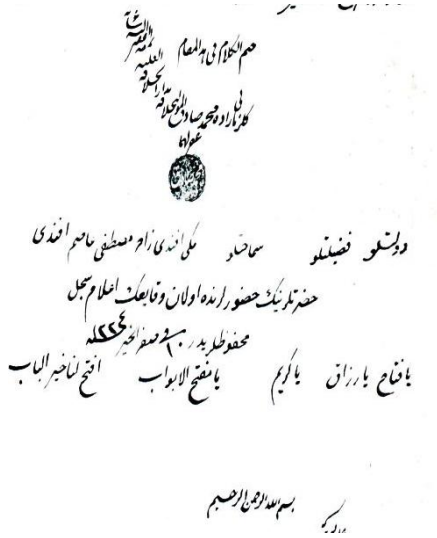




Hüve
Evveli Devletlü İnâyetlü Ebûbekir Paşazâde Hamdullah Beyefendi’nin ve Vâsıtizâde Seyyid Ahmed Efendi’nin ve Semahatlü Hazine Kâtibi Mehmed Emin Efendi’nin hüccet-i vakâyi‘ sicilidir
Döşemeci Arandi
Fî 15 R [Rebîülâhir] sene 1212/[7 Ekim 1797].
Sene 1213
Bakıldı

İstanbul Kadılığı Mahkemesinin 70 numaralı sicil defteri, Allah'ı kastederek "O" anlamında "Hüve" zamiriyle başlamaktadır. Sicilin cilt kapağında İstanbul Kadısı Ebûbekir Paşazâde Hamdullah Beyefendi, Vâsıtizâde Seyyid Ahmed Efendi ve Mehmed Emin Efendi'nin 7 Ekim 1797 tarihinde tuttuğu sicil defterinin hüccet sicili olduğu yazılmıştır. Ayrıca sicildeki kayıtların gözden geçirildiğine dair "Bakıldı" ifadesi not düşülmüştür. İstisnaî bir durum olarak "Döşemeci Arandi" hakkındaki şikayete binaen görülen dava temyize gönderilmiş ve hükmün bir sureti çıkartıldığı için kâtip tarafından cilt kapağına ismi yazılmıştır.
Bu sicilin cildinde keçi derisi ve şal ebru kullanılmıştır. Ayrıca katı' etiketi de çiçek motifindedir. Sicili oluşturan kâğıt ile etiketlerin yazıldığı kağıdın cinsi Avrupa kağıdıdır.

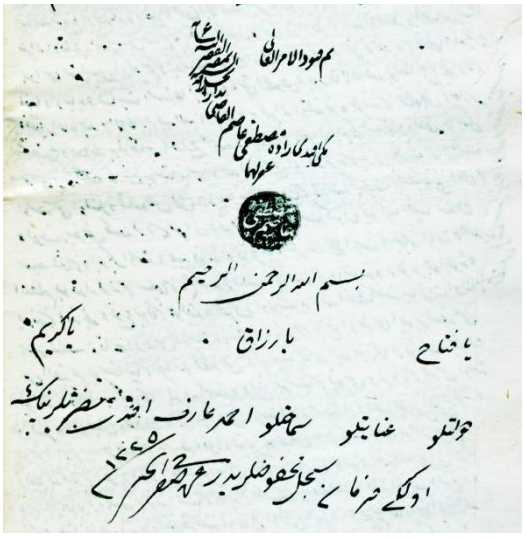
İstanbul Kadı Sicillerinin Serlevhalarına Örnek-IV (ŞSA, İKM, No. 98)



"Hateme'l-kelâm fî hâze'l-makâm
Gülzamanîzâde Mehmed Sadık el-müvellâ bi-dâri'l-hilâfeti'l-aliyye nemekahû el-fakîr ileyhi azze şânuhû
Gufira lehümâ
[Mühür:] Mehmed Sadık
Devletlü Faziletlü Semahatlü Mekki Efendizade Mustafa Asım Efendi hazretlerinin huzurlarında olan vakâyi'-i i'lâm sicill-i mahfuzlarıdır.
Fî 10 Saferi'l-hayr sene 1224/[27 Mart 1809].
Yâ Fettâh yâ Rezzâk yâ Kerîm yâ Müfettiha'l-ebvâb iftah lenâ hayra'l-bâb
Bismillâhirrahmânirrahîm"

İstanbul Kadılığı Mahkemesinin 98 numaralı sicil defterinin serlevha olan sayfasında İstanbul Kadısı Gülzamanîzâde Mehmed Sadık Efendi'nin görev süresinin dolduğundan ve yerine 10 Safer 1224/27 Mart 1809 tarihinde Mekki Efendizade Mustafa Asım Efendi'nin tayin edildiği ifade edilmiştir. Akabinde Allah'ın Fettâh, Rezzâk ve Kerîm isimleri zikredilerek hayır kapılarının açılması için dua cümlesi yazılmıştır.

İstanbul Kadı Sicillerinin Serlevhalarına Örnek-V (ŞSA, İKM, No. 97)



"Temme kuyûdü'l-emri'l-âli
Mekki Efendizâde Mustafa Asım el-Kâdı bi-dâri'l-hilâfeti'l-aliyye nemekahû el-fakîr ileyhi azze şânuhû
[Mühür] Mustafa Asım
Bismillâhirrahmânirrahîm
Yâ Fettâh yâ Rezzâk yâ Kerîm
Devletlü İnâyetlü Semahatlü Ahmed Arif Efendi hazretlerinin evvelki fermân sicill-i mahfûzlarıdır.
Fî gurre-i Saferü'l-hayr sene 1225/[8 Mart 1810]"

İstanbul Kadılığı Mahkemesinin 97 numaralı sicil defterinin serlevha olan sayfasında İstanbul Kadısı Mekki Efendizâde Mustafa Asım Efendi'nin görev süresinin dolduğundan ve yerine 1 Safer 1225/8 Mart 1810 tarihinde Ahmed Arif Efendi'nin tayin edildiği ifade edilmiştir. Akabinde İstanbul Kadısı, Allah'ın Fettâh, Rezzâk ve Kerîm isimleri zikredilerek Besmeleyle göreve başlamıştır.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

İLK DÖNEM SİYER KAYNAKLARININ ÖZELLİKLERİ

Doç. Dr. Esra YILDIZ
Yalova Üniversitesi, İlahiyat Fakültesi, İslam Tarihi ve Sanatları, Yalova, Türkiye
ORCID: 0000-0002-1236-7446

ÖZET
Bu tebliğ, Hz. Peygamber'in hayatına dair rivayetlerin erken İslâm toplumu içinde nasıl oluştuğunu, hangi metin türleri aracılığıyla aktarıldığını ve bu kaynakların metodolojik özelliklerini analiz etmeyi amaçlamaktadır. İlk dönem siyer literatürü, sözlü kültürün hâkim olduğu bir ortamda şekillenmiş; tarih, hadis ve megāzî geleneğiyle iç içe gelişmiştir. Bu çerçevede tebliğ, özellikle İbn İshâk, İbn Hişâm, Vâkıdî, İbn Sa'd ve erken magāzî râvîleri gibi kurucu isimlerin eserlerini tür, içerik ve yöntem bakımından karşılaştırmalı olarak ele almaktadır. İlk dönem siyer kaynaklarının temel özelliklerinden biri, rivayetlerin hem sözlü aktarıma hem de şifahî hafızaya dayanmasıdır. Bu durum, metinlerde olay örgüsünün kronolojiden ziyade tematik anlatımla ilerlemesine ve kimi rivayetlerin farklı varyantlarla aktarılmasına yol açmıştır. Megāzî merkezli anlatılar, Hz. Peygamber'in askerî ve toplumsal liderlik boyutunu öne çıkarırken; şemâil, delâil ve menâkıb türleri ise şahsiyet, ahlâk ve mucizevi yönleri daha belirgin bir üslupla nakletmiştir. Bu çeşitlilik, siyer literatürünün erken dönemden itibaren çok katmanlı bir yapı kazanmasına zemin hazırlamıştır. Tebliğde ayrıca, erken siyer kaynaklarının râvî zincirleri, isnad kullanımı, metin tenkidi, kaynaklar arası ilişkiler ve redaksiyon süreçleri tartışılmaktadır. İlk müelliflerin rivayetleri toplarken kullandıkları yerel hafıza ağları, ailevi bilgi aktarımı ve kabilevi gelenekler de tarihi kaynak değerinin tespitinde önemli bir kriter olarak ele alınmaktadır. Siyer metinlerinin siyasi ve toplumsal bağlamlardan tamamen bağımsız olmadığı; özellikle Emevî-Abbâsî dönemlerinin siyasal söyleminin bazı anlatıların biçimlenmesinde etkili olabileceği yönündeki literatür de dikkate alınmaktadır. Sonuç olarak tebliğ, ilk dönem siyer kaynaklarının yalnızca Hz. Peygamber'in hayatını aktaran biyografik metinler değil, aynı zamanda ilk İslâm toplumunun kolektif hafızası, kimlik inşası ve dini-sosyal tecrübesi hakkında özgün malzemeler sunduğunu ortaya koymaktadır. Bu erken kaynakların içerik, yöntem ve tarihsel bağlam bakımından çok disiplinli bir okumaya ihtiyaç duyduğu vurgulanarak, güncel siyer çalışmalarında eleştirel metotların, kaynak karşılaştırmasının ve tarihsel bağlam analizinin önemine dikkat çekilmektedir.
Anahtar Kelimler: İslam Tarihi, Siyer, Hz. Muhammed, Biyografi, İbn Hişâm.

CHARACTERISTICS OF EARLY SĪRA SOURCES

ABSTRACT
This paper aims to analyze how accounts concerning the life of the Prophet Muhammad emerged within the early Islamic community, through which textual genres they were transmitted, and the methodological characteristics of these sources. Early sīra literature took shape in an environment dominated by oral culture and developed in close interaction with the traditions of historiography, ḥadīth, and maghāzī. Within this framework, the paper comparatively examines the works of formative figures such as Ibn Isḥāq, Ibn Hishām, al-Wāqidī, Ibn Saʿd, and the early transmitters of maghāzī in terms of genre, content, and methodology. One of the principal characteristics of the earliest sīra sources is that their narratives relied substantially on oral transmission and communal memory. This feature contributed to narratives in which events were sometimes organized thematically rather than

according to a strictly chronological sequence and in which certain reports were transmitted in multiple variants. While maghāzī-centered narratives foregrounded the military and social leadership of the Prophet Muhammad, genres such as shamāʾil, dalāʾil, and manāqib presented his personal qualities, moral character, and miraculous aspects in a more pronounced manner. This generic diversity laid the foundations for the multilayered structure of sīra literature from an early period. The paper also discusses the chains of transmission employed in early sīra sources, the use of isnād, textual criticism, intertextual relationships among sources, and processes of redaction. The networks of local memory, familial transmission of knowledge, and tribal traditions utilized by early authors in collecting reports are likewise considered important criteria for assessing the historical value of these materials. The study also takes into account scholarly discussions suggesting that sīra texts were not entirely independent of their political and social contexts and that the political discourses of the Umayyad and Abbasid periods may have influenced the formation and transmission of certain narratives. In conclusion, the paper argues that early sīra sources should be regarded not merely as biographical texts recounting the life of the Prophet Muhammad, but also as distinctive bodies of evidence concerning the collective memory, identity formation, and religious and social experience of the early Islamic community. By emphasizing the need for a multidisciplinary reading of these early sources in terms of content, methodology, and historical context, the paper highlights the importance of critical methods, comparative source analysis, and historical contextualization in contemporary sīra studies.
Keywords: Islamic History, Sīra, Prophet Muhammad, Biography, Ibn Hisham.

GİRİŞ

Hz. Peygamber'in (s.a.s.) hayatını konu edinen siyer yazıcılığı, İslâm ilim geleneğinde yalnızca tarihî bir anlatı türü değil; aynı zamanda normatif, pedagojik ve toplumsal hafızayı kuran temel bir bilgi alanıdır. Zira siyer metinleri, bir yandan nübüvvet tecrübesinin tarihsel seyrini kayda geçirirken, diğer yandan Müslüman toplumun değer dünyasını, siyasal meşruiyet tartışmalarını, ahlâkî örneklik tasavvurunu ve dinî kimlik inşasını şekillendiren bir referans çerçevesi üretmiştir. Bu yönüyle siyer, hadis ve megāzî rivayetlerinin taşıdığı tarihî malzemeyi bünyesinde toplayan; tarih, hadis, tefsir, kelâm ve hatta edebiyatla kesişen disiplinlerarası bir alan olarak temayüz etmektedir.

Siyer yazıcılığının bilgi kaynakları, başta Kur'ân-ı Kerîm olmak üzere, hadis rivayetleri, sahîfeler/risâleler, resmî belgeler (vesikalar), şiir ve sözlü kültür ürünleri gibi çok katmanlı bir zemine dayanır. Bu kaynak çeşitliliği, siyerin erken dönemden itibaren hem rivayet hem de tarih yazıcılığı gelenekleri içinde gelişmesini mümkün kılmış; ancak aynı zamanda rivayetlerin güvenilirliği, aktarım biçimi ve içerik tercihlerine dair metodolojik sorunları da gündeme taşımıştır. Nitekim siyerin teşekkül sürecinde "hangi rivayetin nasıl korunacağı, hangi malzemenin hangi amaçla kullanılacağı ve anlatının hangi çerçevede kurulacağı" soruları, dönemlere göre farklı yoğunluklarda belirleyici olmuştur.

Erken dönem İslâm toplumunun sözlü kültürden yazılı kültüre geçişi, siyer literatürünün oluşumunda doğrudan etkili olmuş; rivayet malzemesi başlangıçta dağınık ve şahıs merkezli bir aktarım karakteri sergilemiştir. Buna bağlı olarak siyer yazıcılığı, keskin sınırlarla ayrılan tek bir zaman dilimi içinde doğmuş bir tür olmaktan ziyade, tedvin ve tasnif süreçlerinin birbirini takip ettiği uzun bir gelişim çizgisi içinde şekillenmiştir. Bu gelişim çizgisini anlamlandırabilmek için siyer tarihinin sözlü rivayet ve erken aktarım evresi "başlangıç dönemi", konu odaklı kısa metinlerin ortaya çıkışı "risâleler dönemi", rivayetlerin kaybolma endişesiyle sistemli toplama ve muhafaza faaliyeti "cem dönemi", bütüncül eser telifi ve kronolojik/tematik yapı inşası "tasnif–telif dönemi" ve nihayet otoritatif metinlerin

standartlaşarak sonraki nesillere aktarılması "nakil ve karşılaştırmalı nakil dönemi" olarak belirli aşamalar altında incelenmesi zorunludur:

Bununla birlikte siyer yazıcılığının yalnızca iç dinamiklerle değil, İslâm toplumunun genişleyen tarihsel ve kültürel ufkuyla da beslendiği görülmektedir. İslâm fetihleriyle birlikte Müslümanların Bizans ve İran gibi çevre kültürlerle temasının artması, tarih yazıcılığına ait yöntemlerin (kronoloji, biyografik anlatım teknikleri, olay tasnifi vb.) siyer metinlerine dolaylı biçimde yansımasına zemin hazırlamıştır. Öte yandan erken dönemden itibaren siyasî çekişmeler ve mezhebî ayrışmalar, siyer metinlerinde belirli olayların seçilmesi, vurgulanması ya da geri planda bırakılması gibi sonuçlar doğurmuş; siyerin aynı zamanda meşruiyet tartışmalarının yürütüldüğü bir "metin alanı" hâline gelmesine neden olmuştur. Bu açıdan siyer literatürü, sadece Hz. Peygamber'in hayatına dair bilgi sunan bir kaynak değil; üretildiği dönemin fikrî ve siyasî iklimini yansıtan tarihî bir belge niteliğini de taşımaktadır.

Siyerin genişlemesinde şemâil ve delâil literatürünün etkisi ayrıca önemlidir. Hz. Peygamber'in fizikî ve ahlâkî vasıflarını merkeze alan şemâil geleneği ile nübüvvetin ispatına yönelik mucize anlatılarını içeren delâil türü, siyer anlatısına estetik ve duygusal bir derinlik kazandırmış; siyerin salt kronolojik bir biyografi olmanın ötesinde, "örnek şahsiyet" ve "ahlâkî rehber" niteliğini güçlendirmiştir. Bu durum özellikle tasavvufî çevrelerde siyerin irşad edici ve pedagojik yönünün daha görünür hâle gelmesini sağlamıştır.

Bu çalışma, klasik dönem siyer yazıcılığını söz konusu dönemler çerçevesinde ele alarak; her aşamanın rivayet toplama ve aktarma biçimlerini, metodolojik özelliklerini (kitâbet, isnâd, sınırlı/örtük tenkit, yorum düzeyi, objektiflik iddiası ve ekoller), öne çıkan temsilcilerini ve sonraki aşamalara etkilerini tartışmayı amaçlamaktadır. Böylece siyer yazıcılığının tarihsel gelişimi, yalnız "metinlerin artması" şeklinde nicel bir büyüme olarak değil; aynı zamanda rivayet disiplininin kurumsallaşması, telif bilincinin oluşması ve metinlerin standartlaşması gibi nitel dönüşümler üzerinden bütüncül biçimde analiz edilecektir.

1. SİYER İLMİ VE SİYER YAZICILIĞI

"Siyer" kelimesi Arapça sîre (سيرة) kökünden türemiş olup sözlükte "yürüyüş, gidişat, hâl ve tutum, izlenen yol" anlamlarına gelmektedir. Terim olarak siyer, Hz. Peygamber'in (s.a.s.) doğumundan vefatına kadar geçen hayatını, şahsî, dinî, toplumsal ve siyasî yönleriyle ele alan ilim dalını ve bu alanda kaleme alınan literatürü ifade eder. Bu yönüyle siyer, yalnızca biyografik bir anlatı değil; aynı zamanda nübüvvet tecrübesinin tarihsel seyri üzerinden İslâm toplumunun teşekkülünü açıklayan temel bir bilgi alanıdır (Fayda, 2009, s. 319-324).

Siyer ilmi, Hz. Peygamber'in söz, fiil ve takrirlerini konu edinen hadis ilmiyle; askerî faaliyetlerini merkezine alan megāzî literatürüyle; olayların zaman ve mekân bağlamını ele alan tarih yazıcılığıyla ve ahlâkî örneklik boyutunu öne çıkaran şemâil ve delâil türleriyle yakın ilişki içinde gelişmiştir. Bununla birlikte siyer, bu alanların hiçbirine indirgenemeyecek şekilde, Hz. Peygamber'in hayatını bütüncül bir anlatı çerçevesi içinde ele alma iddiasıyla müstakil bir disiplin hüviyeti kazanmıştır. Siyerin temel işlevlerinden biri, Hz. Peygamber'i yalnızca tarihsel bir şahsiyet olarak değil, Kur'ân'da ifade edilen "üsve-i hasene" (en güzel örnek) anlayışı çerçevesinde normatif bir model olarak sunmasıdır. Bu nedenle siyer literatürü, erken dönemden itibaren dinî öğretim, ahlâkî terbiye, toplumsal düzen ve siyasal meşruiyet tartışmalarında başvurulan temel referanslardan biri olmuştur (Öz, 2008, s. 36-48).

1.1. Siyer Eserlerinin Yazım Serüveni

Siyer yazımı, Hz. Peygamber'in vefatının hemen ardından müstakil ve sistematik eserler şeklinde başlamamış; aksine sözlü rivayet geleneği içinde, tedricî ve çok aşamalı bir süreçte teşekkül etmiştir. Bu durum, erken dönem İslâm toplumunun kültürel yapısı ve bilgi aktarım biçimiyle doğrudan ilişkilidir (Özdemir, 2007, s. 129-162).

Siyer bilgisinin ilk taşıyıcıları, Hz. Peygamber'in hayatına bizzat şahit olan sahâbîlerdir.

Sahâbe, Hz. Peygamber'le yaşadıkları tecrübeleri; gazveler, hicret, Medine toplumunun inşası, ahlâkî tutumlar ve dinî uygulamalar bağlamında sözlü olarak aktarmışlardır. Bu dönemde siyer, müstakil bir ilim dalı olarak değil; hadis, megāzî ve tarih anlatıları içinde dağınık hâlde yer almıştır.

Sözlü aktarımın baskın olduğu bu evrede, rivayetler çoğunlukla pedagojik ve ahlâkî kaygılarla nakledilmiş; olayların kronolojik bütünlüğünden ziyade ibret ve örneklik boyutu ön plana çıkmıştır. Bu durum, siyer yazımının başlangıçta normatif bir işlev üstlendiğini göstermektedir. Hicrî I. yüzyılın sonlarına doğru, sahâbe neslinin giderek azalması ve rivayetlerin kaybolma endişesi, siyer bilgisinin yazıya geçirilmesi ihtiyacını doğurmuştur. Bu aşamada siyer, henüz kapsamlı kitaplar hâlinde değil; sahîfeler, kısa notlar ve risâleler şeklinde kaleme alınmıştır. Urve b. Zübeyr gibi tâbiîn âlimleri, Hz. Peygamber'in hayatındaki belirli olayları (hicret, gazveler, mektuplar) konu alan yazılı metinler üretmişlerdir (Hamidullah, 1998, s. 95-102). Bu dönem, siyer yazımında konu merkezli ve parçalı bir yapının hâkim olduğu bir geçiş safhası olarak değerlendirilmektedir. Rivayetler yazıya geçirilmiş, ancak henüz bütüncül bir hayat anlatısı oluşturulmamıştır (Akyürek, 2023, s.708-721).

Siyer yazımının erken safhalarında megāzî literatürü belirleyici bir rol oynamıştır. Hz. Peygamber'in askerî faaliyetlerini konu edinen bu anlatılar, hem tarihsel hafızanın korunması hem de İslâm toplumunun kolektif kimliğinin inşası açısından önem taşımıştır. Megāzî metinleri, siyer yazımının kronolojik ve olay merkezli yapısının oluşmasına katkı sağlamış; daha sonra kaleme alınacak kapsamlı siyer eserlerinin temel iskeletini oluşturmuştur (Fayda, 1990, s.45-56).

Sonuç olarak siyer yazımı, ani ve tek aşamalı bir telif faaliyeti değil; sözlü rivayetten yazılı kültüre, parçalı anlatımdan bütüncül eserlere uzanan uzun ve tedricî bir gelişim sürecinin ürünüdür. Bu süreç, erken İslâm toplumunun ilmî, kültürel ve toplumsal dönüşümüyle paralel biçimde ilerlemiş; siyer, hem tarihsel bilgi kaynağı hem de normatif bir rehber olarak İslâm ilim geleneğinde merkezi bir konum kazanmıştır.

1.2. Siyer Literatürünün Genişlemesi

İslâm fetihleriyle birlikte Müslümanların farklı coğrafya ve kültürlerle temas kurması, siyer yazıcılığının içerik ve anlatım bakımından zenginleşmesinde belirleyici bir rol oynamıştır. Özellikle Bizans, İran ve kısmen Hint kültür havzalarına ait tarih yazıcılığı gelenekleri, biyografik anlatım teknikleri ve kronolojik tasnif anlayışları siyer literatürüne dolaylı biçimde yansımıştır (Demircan, 2015). Bu etkileşim sonucunda siyer eserlerinde yalnızca Hz. Peygamber'in hayat safhalarını aktaran rivayet merkezli anlatım değil, aynı zamanda tarihsel bağlam, toplumsal yapı, diplomatik ilişkiler ve askerî organizasyon gibi unsurlar da daha sistematik biçimde ele alınmaya başlanmıştır. Böylece siyer, salt dinî-hagiografik bir tür olmaktan çıkarak tarih, ahlâk ve toplum tasavvurunu içeren çok boyutlu bir literatür hâline gelmiştir (Çelik, 2003, s. 5-16).

Erken dönemden itibaren İslâm dünyasında ortaya çıkan siyasî çekişmeler ve mezhebî ayrışmalar, siyer yazıcılığını hem içerik hem de vurgu bakımından etkilemiştir. Hilâfet meselesi, Ehl-i Beyt algısı, sahâbe tasavvuru ve meşruiyet tartışmaları, siyer metinlerinde Hz. Peygamber'in sözleri, uygulamaları ve aile ilişkileri üzerinden temellendirilmeye çalışılmıştır. Bu durum, bazı siyer eserlerinde belirli olayların öne çıkarılması, bazılarının ise geri planda bırakılması sonucunu doğurmuştur. Dolayısıyla siyer literatürü, yalnızca tarihî bir anlatı alanı değil; aynı zamanda siyasî ve mezhebî kimliklerin inşa edildiği, meşruiyet arayışlarının metinler üzerinden yürütüldüğü bir zemin hâline gelmiştir. Bu bağlamda siyer metinleri, yazıldıkları dönemin fikrî ve siyasî atmosferini yansıtan önemli tarihî belgeler olarak da değerlendirilmelidir (Akgün, 2005).

Hz. Peygamber'in fiziki ve ahlâkî vasıflarını konu edinen şemâil literatürü ile onun nübüvvetini

ispat etmeye yönelik mucize anlatılarını içeren delâilü'n-nübüvve türü, siyer yazıcılığının genişlemesinde müstakil ve etkili bir alan oluşturmuştur. Bu literatür, siyer metinlerine duygusal, estetik ve tasavvufî bir derinlik kazandırmış; Hz. Peygamber'in yalnızca tarihsel bir şahsiyet olarak değil, örnek ve model bir insan olarak algılanmasını güçlendirmiştir. Özellikle tasavvufî çevrelerde şemâil ve delâil unsurlarının siyerle iç içe sunulması, siyerin pedagojik ve irşad edici yönünü ön plana çıkarmıştır. Böylece siyer, kronolojik bir hayat hikâyesi olmanın ötesine geçerek, müminin bireysel ve ahlâkî inşasına katkı sağlayan bir rehber literatür niteliği kazanmıştır (Kandemir, 2010, s. 497).

1.3. Klasik Dönem Siyer Yazıcılığının Karakteristik Özellikleri

Klasik dönem siyer yazıcılığı, sözlü rivayet geleneğinden yazılı kültüre geçiş sürecinin belirgin izlerini taşımaktadır. İlk siyer metinleri, Hz. Peygamber'in hayatına dair rivayetlerin tedvin edilmesi amacıyla kaleme alınmış; bu süreçte megāzî türü belirleyici bir rol oynamıştır. Kitâbet faaliyeti, rivayetlerin muhafazası ve sistematik hâle getirilmesi açısından büyük önem taşımış; kronolojik tasnif, olay merkezli anlatım ve isnadlı nakil esasları giderek yerleşmiştir. Bu bağlamda siyer, hadis ve tarih ilimleriyle yakın ilişki içinde gelişen müstakil bir yazım alanı hâline gelmiştir.

İsnad sistemi, klasik dönem siyer yazıcılığının en ayırt edici unsurlarından biridir. Siyer rivayetleri, hadis ilminde olduğu gibi râvi zincirleriyle aktarılmış; rivayetin güvenilirliği büyük ölçüde isnadın sağlamlığına bağlanmıştır. Bu durum, siyerin yalnızca edebî veya menkıbevî bir tür olarak değil, ilmî bir disiplin olarak teşekkül etmesini sağlamıştır. Her ne kadar siyer rivayetlerinde isnad kullanımında hadis kadar katı kriterler uygulanmamış olsa da râvilerin kimliği ve rivayet yollarının belirtilmesi ilmî ciddiyetin göstergesi olarak kabul edilmiştir (Fayda, 2022).

Klasik siyer literatüründe tenkit faaliyeti, sınırlı ancak dikkate değer bir düzeyde mevcuttur. Rivayetler çoğu zaman bir araya getirilmiş, müellifler farklı rivayetleri senetleriyle birlikte aktarmayı tercih etmişlerdir. Bununla birlikte bazı müellifler, rivayetler arasındaki çelişkilere işaret etmiş, tarihsel tutarlılık ve râvi güvenilirliği üzerinden örtük bir eleştiri yürütmüşlerdir. Bu yaklaşım, siyer yazıcılığında açık metodolojik tenkitten ziyade "rivayetleri olduğu gibi aktarma" anlayışının baskın olduğunu göstermektedir.[2]

Klasik dönem siyer eserlerinde yorum unsuru genellikle sınırlı tutulmuştur. Müellifler, Hz. Peygamber'in hayatına dair olayları aktarmayı öncelemiş; şahsî değerlendirmelerden ve sübjektif yorumlardan büyük ölçüde kaçınmışlardır. Bununla birlikte ahlâkî mesajların vurgulanması, ibret unsurlarının öne çıkarılması ve bazı olayların dinî bağlamda anlamlandırılması, dolaylı bir yorum biçimi olarak metinlere yansımıştır. Bu yönüyle siyer, hem tarihsel aktarımı hem de normatif yönlendirmeyi bünyesinde barındıran bir tür niteliği kazanmıştır (Fayda, 1985, s. 357-368).

Klasik siyer yazıcılığında mutlak anlamda modern tarih anlayışına uygun bir objektiflikten söz etmek güç olmakla birlikte, müelliflerin rivayetleri çoğulcu biçimde aktarma çabası dikkat çekicidir. Farklı rivayetlerin bir arada sunulması, okuyucuya dolaylı bir değerlendirme imkânı tanımıştır. Bununla birlikte müelliflerin yaşadıkları dönemin siyasî, mezhebî ve fikrî atmosferinden tamamen bağımsız kalmaları mümkün olmamış; bu durum, bazı olayların sunumunda tercih ve vurgulara yol açmıştır (Öz, 2008, s. 45-62).

Klasik dönem siyer yazıcılığı, zamanla farklı ilmî ve coğrafî ekoller çerçevesinde şekillenmiştir. Medine merkezli megāzî geleneği, rivayet yoğunluğu ve sahâbî aktarımlarına verdiği önemle öne çıkarken; Irak merkezli tarih yazıcılığı, kronoloji ve toplumsal bağlama daha fazla yer vermiştir. Bu ekoller, siyerin hem rivayet hem de tarih disipliniyle ilişkisini

[2] Şaban Öz, "Siyer Yazıcılığında Kaynak Problemi", *İslâmî Araştırmalar* 21/2 (2008), 233–252.

güçlendirmiştir. İbn İshak, Vâkıdî ve İbn Saʿd gibi isimler, bu ekollerin teşekkülünde ve klasik siyer yazıcılığının kurumsallaşmasında belirleyici rol oynamıştır (Erol, 2013, s. 245).

SONUÇ

Klasik dönem siyer yazıcılığı, tek çizgili ve durağan bir gelişim süreci değil; aksine rivayet, metodoloji ve telif anlayışlarının zamanla dönüşüm geçirdiği çok katmanlı bir yapıyı yansıtmaktadır. Başlangıç döneminde siyer bilgisi, sahâbe ve tâbiîn neslinin hafızasında şekillenen sözlü rivayetler üzerinden aktarılmış; bu safha, siyer hafızasının teşekkül ettiği kurucu bir evre olmuştur. Risâleler dönemiyle birlikte bu dağınık malzeme yazılı hâle gelmiş, konu merkezli kısa metinler aracılığıyla sistematikleşmenin ilk adımları atılmıştır.

Cem dönemi, siyer yazıcılığında rivayetlerin kaybolma endişesine karşı bilinçli bir muhafaza refleksinin ortaya çıktığı kritik bir eşik teşkil etmiştir. Bu dönemde siyer, artık bireysel aktarımın ötesinde kolektif bir ilmî miras olarak algılanmaya başlanmıştır. Tasnif–telif döneminde ise siyer, kronolojik bütünlüğe sahip, planlı ve kapsamlı eserler hâlinde kaleme alınarak müstakil bir literatür hüviyetine kavuşmuştur. Nakil ve karşılaştırmalı nakil dönemleri, bu birikimin korunmasını, sadeleştirilmesini ve farklı kaynaklar üzerinden mukayeseli biçimde aktarılmasını sağlamıştır.

Bu süreçlerin tamamı birlikte değerlendirildiğinde, klasik dönem siyer yazıcılığı, Hz. Peygamber'in hayatını hem tarihsel bir gerçeklik hem de ahlâkî bir model olarak sunan dengeli bir ilim alanı inşa etmiştir. Böylece siyer, yalnızca geçmişi aktaran bir anlatı değil; aynı zamanda İslâm düşüncesinin sürekliliğini temin eden temel referanslardan biri hâline gelmiştir. Metinde ele alınan klasik dönem siyer yazıcılığı, metodolojik açıdan rivayet merkezli bir yapıdan telif ve tasnif bilincine doğru evrilen bir ilim geleneğini açık biçimde ortaya koymaktadır. Bu gelişim süreci, siyerin hadis ve tarih ilimleriyle olan yakın ilişkisini korurken, zamanla kendine özgü yöntem ve amaçlar geliştirdiğini göstermektedir. Özellikle isnad kullanımı, rivayetlerin korunması ve çoğulcu aktarım anlayışı, siyerin ilmî güvenilirliğini destekleyen temel unsurlar olarak öne çıkmaktadır.

Bununla birlikte klasik dönem siyer yazıcılığının bazı sınırlılıkları da bulunmaktadır. Rivayet tenkidinin hadis ilmi kadar sistematik uygulanmaması, İsrailiyat kökenli anlatıların zaman zaman metinlere dâhil olması ve müelliflerin yaşadıkları dönemin siyasî-mezhebî atmosferinden tamamen bağımsız kalamamaları, bu literatürün eleştirel okunmasını gerekli kılmaktadır. Ancak bu durumlar, siyer yazıcılığının ilmî değerini zayıflatmaktan ziyade, onun tarihsel bağlam içinde anlaşılması gerektiğini göstermektedir.

Sonuç olarak klasik dönem siyer yazıcılığı, hem metodolojik çeşitliliği hem de tarihsel sürekliliğiyle İslâm ilim geleneğinin temel yapı taşlarından birini oluşturur. Bu literatürün dönemler ve müellifler üzerinden karşılaştırmalı biçimde incelenmesi, siyer çalışmalarına dair daha bilinçli, eleştirel ve bütüncül bir yaklaşım geliştirilmesine önemli katkılar sunmaktadır.

KAYNAKÇA

Akyürek, Y. (2023). "Siyer İlmi Açısından Sahâbe Nesli Sahîfelerinin Oluşum Süreci ve Mahiyeti". *Cumhuriyet İlahiyat Dergisi* 27/2, 708-721.

Çelik, Ali. (2003). "Kuran ve Sünnet'in Doğru Anlaşılmasında Sîret'in Önemi". Dinbilimleri Akademik Araştırma Dergisi 3/5-16.

Demircan, A. (ed.). (2015). Bir Bilim Olarak Siyer ve Kaynakları. İstanbul: Siyer Yayınları.

Fayda, M. (2009). "Siyer ve Megāzî". *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi*. 37/319-324. Ankara: TDV Yayınları.

Fayda, M. (1990). "Siyer ve Megāzî Yazıcılığı". *İslâmî Araştırmalar* 4/1, 45-56.

Fayda, M. (2022). "Allah'ın Emriyle Siyer Başlar: Siyer Yazımında İlkler". ed. Levent Öztürk. İstanbul: Siyer Yayınları.

Fayda, M. (1985). "Siyer Sahasındaki İlk Telif Çalışmaları". Uluslararası Birinci İslam Araştırmaları Sempozyumu. ed. Ömer Yiğitbaşı. 357-368. İzmir: Dokuz Eylül Üniversitesi Yayınları.
Hamidullah, M. (1998). "Allah'ın Elçisi (sav) ve Sahabe Devrinde Yazı Sanatı". *İslâmî Araştırmalar* 2/7, 95-102.
Kandemir, M. Y. (2010). "Şemâil". *Türkiye Diyanet Vakfı İslâm Ansiklopedisi.* 38/497. İstanbul: TDV Yayınları.
Öz, Ş. (2008). *İlk Siyer Kaynakları ve Müellifleri.* Ankara: Ankara Okulu Yayınları.
Özdemir, M. (2007). "Siyer Yazıcılığı Üzerine". *Milel ve Nihal* 4/3, 129-162.
Polat, S. (2012). "Siyer'in Neliği Bağlamında Siyer Yazıcılığının Sorunları". *Sîret Sempozyumu I: Türkiye'de Sîret Yazıcılığı*. ed. Tahsin Koçyiğit. Ankara: Türkiye Diyanet Vakfı Yayınları.

EKLER

Ek 1. Klasik Dönem Siyer Yazıcılığı: Karşılaştırmalı Değerlendirme

Klasik dönem siyer yazıcılığı; Başlangıç–Risâleler–Cem, Tasnif–Telif ve Nakil (Karşılaştırmalı Nakil) dönemleri çerçevesinde ele alınmakta; her bir dönem özellikleri, öne çıkan farkları, eksik yönleri ve okuyucuya sağladığı katkılar bakımından karşılaştırmalı olarak değerlendirilmektedir.

Dönem	Temel Özellikler	Öne Çıkan Farklar	Eksik / Sınırlı Yönler	Okuyucuya Katkılar
Başlangıç Dönemi	Sözlü rivayet ağırlıklı, parçalı ve şahıs merkezli aktarım	Siyer bilgisinin ilk defa şekillenmesi	Sistematik yapı ve kronoloji eksikliği	İlk siyer hafızasının oluşması
Risâleler Dönemi	Konu merkezli kısa yazılı metinler	Yazılı kültüre geçiş	Bütüncül siyer anlatısının bulunmaması	Siyerin yazılı hâle gelmesi
Cem Dönemi	Rivayetlerin sistemli biçimde toplanması ve korunması	Koruma ve muhafaza bilinci	Yorum ve telif bilincinin sınırlı olması	Rivayet mirasının kaybolmasının önlenmesi
Tasnif–Telif Dönemi	Kronolojik yapı ve bütüncül siyer kitapları	Siyerin kitaplaşması	Rivayet seçiminin sübjektif olabilmesi	Okunabilir ve öğretilebilir siyer anlatısı
Nakil Dönemi	Otoritatif metinlere bağlılık, ihtisar ve düzenleme	Metnin standartlaşması	Yeni bilgi üretiminin sınırlı olması	Yaygınlaşma ve pedagojik kolaylık
Karşılaştırmalı Nakil Dönemi	Çoklu kaynak kullanımı, rivayetleri yan yana sunma	Mukayeseye dayalı sessiz tenkit	Açık metodolojik eleştirinin sınırlılığı	Eleştirel okuma imkânı

TiO_2 KAPLI AISI 431 PASLANMAZ ÇELİĞİN YÜZEY TOPOGRAFYASI VE KOROZYON DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Res. Ass. Furkan Berkay TAMER
Karadeniz Technical University, Faculty of Engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering, 61040 Ortahisar, Trabzon
ORCID ID: 0009-0000-6908-1265
Prof. Dr. Aykut ÇANAKÇI
Karadeniz Technical University, Faculty of Engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering, 61040 Ortahisar, Trabzon
ORCID ID: 0000-0001-5244-6467
Res. Ass. Sedat Alperen TUNÇ
Karadeniz Technical University, Faculty of Engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering, 61040 Ortahisar, Trabzon
ORCID ID: 0000-0001-7382-2353

ÖZET

AISI 431 martenzitik paslanmaz çelik, yüksek mekanik dayanım, iyi aşınma direnci ve nispeten düşük maliyet avantajları sunmasına rağmen klorür içeren ortamlarda korozyon kararlılığı açısından sınırlamalar gösterebilmektedir. Bu çalışmada, TiO_2 kaplama ile modifiye edilmiş AISI 431 paslanmaz çeliğin yüzey topografyası ve elektrokimyasal korozyon davranışı incelenmiştir. TiO_2 kaplama, AISI 431 paslanmaz çelik altlık üzerine radyo frekanslı (RF) magnetron sputtering yöntemiyle 90 dakika süreyle uygulanmıştır. Kaplama işlemi 300 °C sıcaklıkta, 15 mTorr kaplama basıncında, 120 W RF güç ve 200 sccm argon gazı debisi koşullarında gerçekleştirilmiştir.

TiO_2 biriktirilmesinin yüzey morfolojisi üzerindeki etkisi optik profilometri ve üç boyutlu yüzey topografyası analizleri ile değerlendirilmiştir. Kaplanmamış yüzey daha sınırlı yükseklik farklılıkları ve daha homojen bir profil sergilerken, TiO_2 kaplı yüzey belirgin tepe ve çukur bölgeleriyle karakterize edilen daha gelişmiş bir üç boyutlu morfoloji göstermiştir. Ortalama yüzey pürüzlülüğü (Ra), kaplanmamış durumda 23,87 µm iken 90 dakikalık TiO_2 kaplama sonrasında 48,30 µm'ye yükselmiştir.

Korozyon davranışı, ağırlıkça %3,5 NaCl çözeltisinde potansiyodinamik polarizasyon yöntemiyle değerlendirilmiştir. Polarizasyon eğrisi katodik ve anodik kollar arasında karakteristik bir geçiş göstermiş; korozyon potansiyeli (Ecorr) yaklaşık −0,35 V ve korozyon akım yoğunluğu (Icorr) yaklaşık $3{,}5 \times 10^{-8}$ A cm^{-2} olarak belirlenmiştir. Düşük korozyon akım yoğunluğu ve anodikteki düşük akım seviyeleri, TiO_2 kaplamanın klorür iyonlarının altlıkla etkileşimini sınırlandıran fiziksel ve elektrokimyasal bir bariyer oluşturduğunu göstermektedir. Sonuçlar, TiO_2 kaplamanın AISI 431 çeliğin yüzey topografyasını belirgin biçimde değiştirdiğini ve klorürlü ortamda korozyon direncini geliştirme potansiyeli taşıdığını ortaya koymuştur.

Anahtar kelimeler: AISI 431 paslanmaz çelik, TiO_2 kaplama, RF magnetron sputtering, yüzey topografyası, potansiyodinamik polarizasyon, korozyon

INVESTIGATION OF THE SURFACE TOPOGRAPHY AND CORROSION BEHAVIOR OF TiO_2-COATED AISI 431 STAINLESS STEEL

ABSTRACT

AISI 431 martensitic stainless steel offers high mechanical strength, good wear resistance, and relatively low material cost; however, its corrosion stability may be limited in chloride-containing environments. In this study, the surface topography and electrochemical corrosion behavior of AISI 431 stainless steel modified with a TiO_2 coating were investigated. TiO_2 was deposited on the AISI 431 stainless-steel substrate by radio-frequency (RF) magnetron sputtering for 90 min. The coating process was carried out at 300 °C, a deposition pressure of 15 mTorr, an RF power of 120 W, and an argon flow rate of 200 sccm.

The effect of TiO_2 deposition on surface morphology was evaluated by optical profilometry and three-dimensional surface topography analysis. The uncoated surface exhibited relatively limited height variations and a more uniform profile, whereas the TiO_2-coated surface showed a more developed three-dimensional morphology characterized by pronounced peak and valley regions. The average surface roughness (Ra) increased from 23.87 µm in the uncoated condition to 48.30 µm after 90 min of TiO_2 deposition.

Corrosion behavior was evaluated by potentiodynamic polarization in a 3.5 wt.% NaCl solution. The polarization curve showed a characteristic transition between the cathodic and anodic branches, with a corrosion potential (Ecorr) of approximately −0.35 V and a corrosion current density (Icorr) of approximately 3.5×10^{-8} A cm^{-2}. The low corrosion current density and the relatively low anodic current response indicate that the TiO_2 coating provides a physical and electrochemical barrier that restricts the interaction of chloride ions with the underlying substrate. The results show that TiO_2 deposition markedly modifies the surface topography of AISI 431 stainless steel and has the potential to improve its corrosion resistance in chloride-containing environments.

Keywords: AISI 431 stainless steel, TiO_2 coating, RF magnetron sputtering, surface topography, potentiodynamic polarization, corrosion

1. INTRODUCTION

AISI 431 is a martensitic stainless steel that combines high strength, hardness, and wear resistance with moderate corrosion resistance, making it attractive for mechanically demanding components exposed to aggressive service environments. However, the corrosion performance of martensitic stainless steels remains strongly dependent on surface condition and passive-film stability, particularly in chloride-containing media where localized breakdown can accelerate metal dissolution. Recent work on AISI 431 has therefore emphasized surface-engineering routes capable of improving corrosion resistance without sacrificing mechanical performance; for example, Liu et al. (2025) reported a marked reduction in corrosion current density after plasma electrolytic carbonitriding in 3.5 wt.% NaCl solution.

Among ceramic surface modifiers, titanium dioxide (TiO_2) has received considerable attention because of its chemical stability, low reactivity, and ability to form a physical barrier between metallic substrates and aggressive electrolytes. Recent studies have confirmed that TiO_2-containing coatings can suppress corrosion reactions on steels by restricting electrolyte transport and reducing electrochemical activity. Byeon and Sunil (2025) demonstrated improved corrosion resistance of TiO_2-coated mild steel in 3.5 wt.% NaCl, while Radhi et al. (2025) reported a substantial decrease in corrosion rate for TiO_2-reinforced Ni–P coatings on 316 stainless steel. Similar improvements have been observed for Sn-doped TiO_2 systems, where a positive shift in corrosion potential and lower corrosion current density were obtained after prolonged exposure to 3.5 wt.% NaCl (Abdul Rahman et al., 2025). TiO_2-based

nanocomposite coatings have also shown effective corrosion protection on stainless steels (Lakkimsetty et al., 2023).

The protective response of TiO_2 coatings is closely related to coating continuity, compactness, surface morphology, and roughness. Grayeli et al. (2024) showed that RF magnetron sputtering power significantly alters the thickness, crystallinity, and surface roughness of TiO_2 thin films, highlighting the sensitivity of surface topography to deposition conditions. Eraslan et al. (2024) likewise demonstrated that microstructural modification of TiO_2-based coatings on 316L stainless steel directly affects corrosion and tribological performance. More recently, Awarasang et al. (2026) attributed the very low corrosion current density of TiO_2-coated SUS304 stainless steel to the formation of a dense and homogeneous oxide layer.

Physical-vapor-based deposition methods are particularly attractive because they enable controlled thin-film growth and good substrate adhesion. Staszuk et al. (2026) showed that TiO_2-containing hybrid PVD/ALD coatings significantly increased the pitting resistance of 316L stainless steel, whereas Prasad and Pamu (2026) demonstrated that RF-sputtered TiO_2/ZrO_2 coatings on AISI 304/316 steels improved passivation and pitting resistance in 3.5 wt.% NaCl, with deposition conditions also influencing surface roughness. These findings indicate that surface topography and corrosion behavior should be evaluated together rather than independently.

Accordingly, the present study investigates the effect of a 90-min RF magnetron-sputtered TiO_2 coating on the three-dimensional surface topography and potentiodynamic polarization behavior of AISI 431 stainless steel in 3.5 wt.% NaCl solution. By combining optical profilometry with electrochemical assessment, the work aims to clarify the relationship between TiO_2-induced surface modification and corrosion-related surface stability.

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Material and Specimen Preparation

AISI 431 martensitic stainless steel was used as the substrate material. The specimens were manufactured by AGS Medikal using machining and supplied in a rectangular prismatic geometry suitable for the coating process. Prior to deposition, the specimens were ultrasonically cleaned in an alcohol medium to remove oil, dirt, and other surface contaminants.

AISI 431 stainless steel used in the study contains approximately 15–17 wt.% Cr and 1.25–2.50 wt.% Ni, with Fe as the balance, together with minor amounts of C, Si, Mn, P, and S.

2.2. TiO_2 Coating by RF Magnetron Sputtering

Following surface cleaning, TiO_2 was deposited on the AISI 431 stainless-steel substrates by physical vapor deposition using a radio-frequency (RF) magnetron sputtering system. The deposition process was carried out in the laboratories of the Department of Metallurgical and Materials Engineering at Karadeniz Technical University. TiO_2 deposition was performed for 90 min, with one surface of each specimen coated while the opposite surface was retained uncoated.

The TiO_2 coating parameters used in the present study are summarized in Table 1. The chamber base pressure was 3×10^{-6} Torr, while the working pressure during deposition was maintained at 15 mTorr. The coating temperature was 300 °C, the RF power was 120 W, and argon was introduced at a flow rate of 200 sccm. The specimen rotation speed was maintained at 20 rpm throughout the 90-min deposition process.

Table 1. RF magnetron sputtering parameters used for TiO_2 deposition on AISI 431 stainless steel.

Parameter	TiO_2 Coating
Base pressure	3×10^{-6} Torr
Deposition pressure	15 mTorr
Deposition temperature	300 °C
Argon flow rate	200 sccm
RF power	120 W
Rotation speed	20 rpm
Deposition time	90 min

2.3. Three-Dimensional Surface Topography and Roughness Measurement

The surface roughness and three-dimensional topography of the specimens were characterized by optical profilometry using a ZeeScope imaging system. Measurements were performed using an Olympus MPLFLN5X2 objective with 5× magnification and a 0.54× adapter magnification. Three-dimensional topographical maps obtained from the specimen surfaces were used to evaluate variations in surface height and morphology resulting from TiO_2 deposition.

The average surface roughness parameter (Ra) was selected as the principal quantitative roughness parameter. The Ra values and three-dimensional surface maps of the uncoated and 90-min TiO_2-coated surfaces were comparatively evaluated to determine the influence of RF magnetron sputtering on the surface topography of AISI 431 stainless steel.

2.4. Potentiodynamic Polarization Test

The corrosion behavior of the AISI 431 stainless-steel specimen coated with TiO_2 for 90 min was evaluated by potentiodynamic polarization testing in a 3.5 wt.% NaCl aqueous solution. The electrochemical response was represented as electrode potential, E (V), versus the logarithmic current density, $|i|$ (A cm^{-2}).

The resulting polarization curve was evaluated in terms of its cathodic and anodic branches. The corrosion potential (Ecorr) and corrosion current density (Icorr) were obtained from the polarization response and used as the principal parameters for assessing the electrochemical behavior of the TiO_2-coated AISI 431 surface in the chloride-containing environment.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Three-Dimensional Surface Topography and Roughness

The three-dimensional surface topographies of the uncoated and 90-min TiO_2-coated AISI 431 stainless-steel specimens are presented in Figure 1. A clear modification of the surface profile was observed after RF magnetron sputtering. The uncoated surface exhibited comparatively lower height variations and a more uniform topographical distribution. In contrast, the TiO_2-coated surface showed a distinctly developed three-dimensional character, with a higher density of peak and valley regions and a broader distribution of surface-height variations.

This qualitative change was also reflected in the quantitative surface roughness results. The average surface roughness (Ra) increased from 23.87 µm for the uncoated AISI 431 surface to 48.30 µm after 90 min of TiO_2 deposition. This corresponds to an increase of approximately 102%, indicating that the TiO_2 deposition process substantially altered the original surface

architecture of the substrate.

The increased Ra value is consistent with the three-dimensional topographical maps, in which the TiO_2-coated surface exhibits more pronounced asperities and a wider height distribution. The thesis results further indicate that surface roughness cannot be explained solely by coating thickness, but is also influenced by coating morphology, grain-related surface development, and local topographical irregularities. Therefore, the higher roughness observed after TiO_2 deposition should be considered a consequence of the surface-growth characteristics of the sputtered coating rather than merely an increase in deposited material volume.

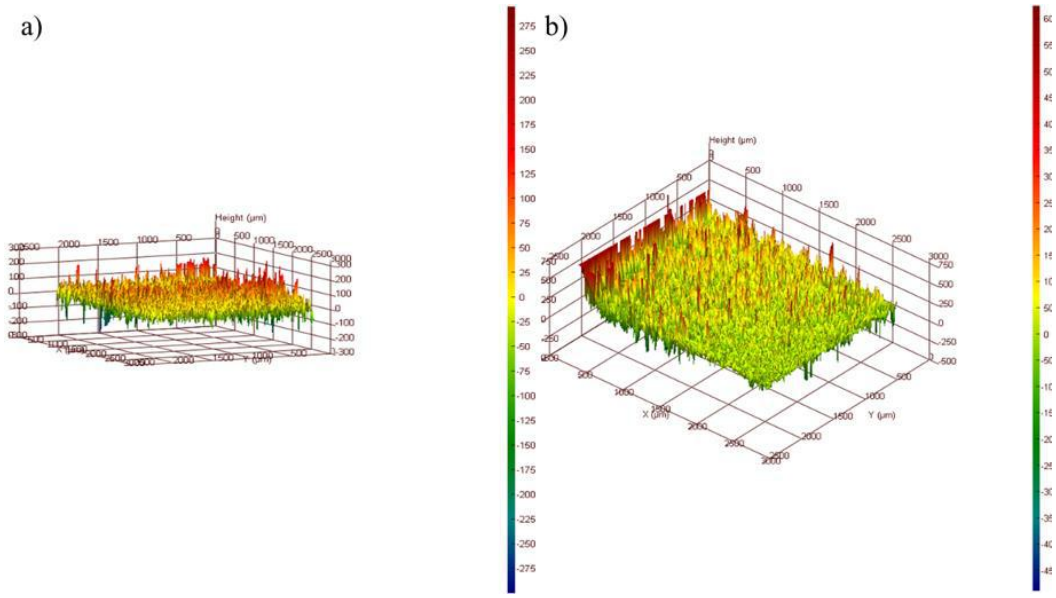


Figure 1. Three-dimensional surface topographies of AISI 431 stainless steel: (a) uncoated surface and (b) surface coated with TiO_2 for 90 min.

Table 2. Average surface roughness of uncoated and 90-min TiO_2-coated AISI 431 stainless steel.

Surface condition	Ra (µm)
Uncoated AISI 431	23.87
90 min TiO_2 coated AISI 431	48.30

3.2. Potentiodynamic Polarization Behavior

The potentiodynamic polarization behavior of the 90-min TiO_2-coated AISI 431 stainless steel in 3.5 wt.% NaCl solution is shown in Figure 2. The polarization curve exhibits the characteristic transition between cathodic and anodic polarization branches. Based on the supplied polarization response, the corrosion potential (Ecorr) was approximately −0.35 V, while the corrosion current density (Icorr) was approximately 3.5×10^{-8} A cm^{-2}.

The relatively low Icorr value indicates a low electrochemical dissolution tendency of the TiO_2-coated surface under chloride-containing conditions. After reaching Ecorr, the anodic branch shifts toward more positive potentials while remaining within a relatively low current-density range. This response suggests that the TiO_2 layer limits the electrochemical interaction between the chloride-containing electrolyte and the underlying AISI 431 stainless-steel substrate.

The anodic branch also shows a gradual change rather than an abrupt increase in current density over the investigated potential range. Such behavior indicates that the coated surface maintains a comparatively stable electrochemical response during anodic polarization. In this context, the deposited TiO_2 layer can be considered to provide a barrier that restricts electrolyte access to

the metallic substrate and suppresses the electrochemical reactions responsible for metal dissolution.

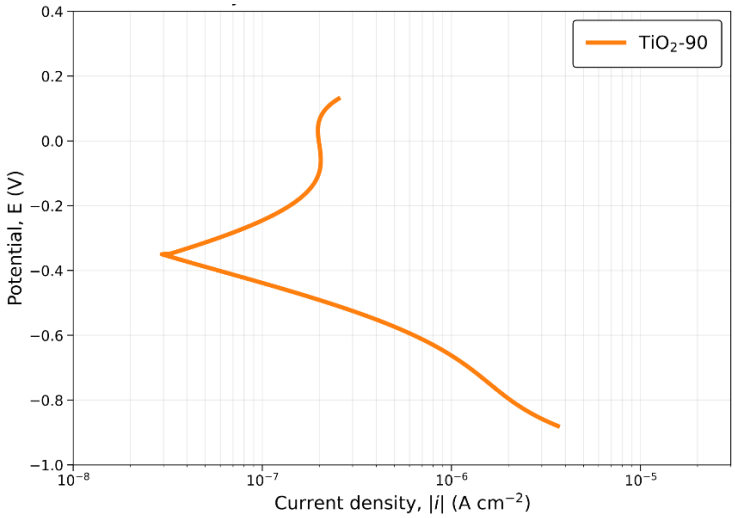


Figure 2. Potentiodynamic polarization curve of the 90-min TiO_2-coated AISI 431 stainless steel in 3.5 wt.% NaCl solution.

3.3. Relationship Between Surface Topography and Corrosion Behavior

When the topographical and electrochemical findings are evaluated together, TiO_2 deposition produced a substantial modification of the AISI 431 surface while maintaining a low-current-density corrosion response. The Ra value increased from 23.87 to 48.30 µm, accompanied by a more developed peak–valley structure in the three-dimensional surface map. At the same time, the polarization response was characterized by an Icorr value of approximately 3.5×10^{-8} A cm^{-2}.

These findings indicate that an increase in geometrical surface roughness does not necessarily correspond to an increase in electrochemical activity. Although TiO_2 deposition generated a more pronounced three-dimensional surface profile, the coating simultaneously provided a barrier between the metallic substrate and the chloride-containing solution. Thus, the corrosion response appears to depend not only on the geometrical roughness of the surface but also on the continuity and protective character of the deposited TiO_2 layer.

The combined profilometric and electrochemical results demonstrate that 90-min RF magnetron-sputtered TiO_2 deposition significantly modifies the surface architecture of AISI 431 stainless steel while providing a low-current-density electrochemical response in 3.5 wt.% NaCl solution. This combination suggests that TiO_2 surface modification may be an effective approach for improving the surface functionality and chloride-environment stability of AISI 431 stainless steel.

4. Conclusions

This In this study, the effect of a 90-min RF magnetron-sputtered TiO_2 coating on the surface topography and corrosion behavior of AISI 431 stainless steel was evaluated. The combined profilometric and electrochemical results showed that TiO_2 deposition markedly modified the surface structure while maintaining a favorable low-current-density response in 3.5 wt.% NaCl solution.

- The average surface roughness, Ra, increased from 23.87 µm for the uncoated surface to 48.30 µm after 90 min of TiO_2 deposition, corresponding to an increase of approximately 102%.

- Three-dimensional profilometry revealed a more developed surface morphology after coating, with more pronounced peak and valley regions and a broader distribution of surface-height variations.
- The potentiodynamic polarization response in 3.5 wt.% NaCl yielded an approximate Ecorr of −0.35 V and Icorr of 3.5×10^{-8} A cm^{-2}.
- The low corrosion current density indicates a reduced electrochemical dissolution tendency of the TiO_2-coated surface in the chloride-containing environment.
- Although the coating significantly increased the geometrical surface roughness, the corrosion response remained favorable, indicating that surface roughness alone does not determine corrosion performance.
- The results suggest that RF magnetron-sputtered TiO_2 coating is a promising surface-modification approach for improving the surface functionality and chloride-environment stability of AISI 431 stainless steel.

REFERENCES

Abdul Rahman, F., Basirun, W. J., & Johan, M. R. (2025). Synergistic effect of Sn doping in TiO_2 nanoparticles as an additive in anti-corrosion coatings. Materials and Corrosion, 76(2), 295–304. https://doi.org/10.1002/maco.202414492

Awarasang, S., Hung, J. C., & Tsui, H. P. (2026). Surface characterization of titanium oxide coating on SUS304 stainless steel by electrical discharge coating. Materials Today Communications, 50, 114606. https://doi.org/10.1016/j.mtcomm.2025.114606

Byeon, H., & Sunil, J. (2025). Exploring the novel environmentally friendly highly hydrophobic TiO_2 coating for enhanced anti-corrosion performance of steel in potential industrial applications. Results in Chemistry, 14, 102087. https://doi.org/10.1016/j.rechem.2025.102087

Eraslan, F. S., Birol, B., & Gecü, R. (2024). Microstructural, tribological, and corrosion behavior of B_4C-added TiO_2 coatings applied on 316L stainless steel via sol-gel method. Ceramics International, 50(23), 49346–49353. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2024.09.279

Grayeli, A., Ahmadpourian, A., Jurečka, S., Luna, C., Rezaee, S., & Karimi, M. (2024). Investigating the influence of RF power on the surface morphological and optical properties of sputtered TiO_2 thin films. Optical Materials, 157, 116363. https://doi.org/10.1016/j.optmat.2024.116363

Lakkimsetty, N. R., Al Qaidi, M. A. A., Joy, V. M., Karunya, S., & Shaik, F. (2023). Anti-corrosion behaviour of TiO_2-nanocomposites coated stainless steel. Materials Today: Proceedings, 80, 641–647. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.11.062

Liu, R. L., Yi, B., Li, Z., & Liu, Q. L. (2025). Surface hardening of AISI 431 stainless steel by plasma electrolytic carbonitriding without sacrificing its corrosion resistance. Surfaces and Interfaces, 62, 106216. https://doi.org/10.1016/j.surfin.2025.106216

Prasad, V. J. S. N., & Pamu, D. (2026). High-performance pitting corrosion resistance and microstructural properties of RF sputtered TiO_2/ZrO_2 coatings on steels 304/316. Ceramics International. Advance online publication. https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2026.05.322

Radhi, N. S., Rasheed, F. S., Al-Khafaji, Z., Ali, K. O., & Ghazi, R. (2025). Improvement of corrosion resistance of stainless steel 316 by electroless phosphorus nickel-titania composite coating. Corrosion Science and Technology, 24(2), 51–62. https://doi.org/10.14773/cst.2025.24.2.51

Staszuk, M., Pakuła, D., Reimann, Ł., Woźniak, A., Kloc-Ptaszna, A., Kolasa, J., & Nuckowski, P. (2026). Investigations of CrN/TiO_2 coatings obtained in the hybrid PVD/ALD process on 316L steel substrates. Materials, 19(10), 1921. https://doi.org/10.3390/ma19101921

AA7075 ALÜMİNYUM ALAŞIMINDA SÜLFÜRİK ASİT ANODİZASYON SÜRESİNİN OKSİT TABAKA MORFOLOJİSİ VE YÜZEY TOPOĞRAFYASI ÜZERİNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Res. Ass. Furkan Berkay TAMER
Karadeniz Technical University, Faculty of Engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering, 61040 Ortahisar, Trabzon
ORCID ID: 0009-0000-6908-1265
Prof. Dr. Aykut ÇANAKÇI
Karadeniz Technical University, Faculty of Engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering, 61040 Ortahisar, Trabzon
ORCID ID: 0000-0001-5244-6467
Res. Ass. Sedat Alperen TUNÇ
Karadeniz Technical University, Faculty of Engineering, Department of Metallurgical and Materials Engineering, 61040 Ortahisar, Trabzon
ORCID ID: 0000-0001-7382-2353

ÖZET

AA7075 alüminyum alaşımı, yüksek özgül mukavemeti nedeniyle havacılık ve yüksek performans gerektiren yapısal uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bununla birlikte, alaşımın heterojen mikroyapısı ve Zn–Mg esaslı ikincil fazları, anodizasyon sırasında oluşan oksit tabakasının gelişimini ve morfolojik kararlılığını etkileyebilmektedir. Bu çalışmada, sülfürik asit anodizasyon süresinin AA7075 alüminyum alaşımında anodize oksit tabaka gelişimi, yüzey morfolojisi ve topografik özellikler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Mekanik yüzey hazırlığı ve kimyasal ön işlemlerin ardından numuneler 1,5 M H_2SO_4 elektrolitinde 30, 60 ve 90 dakika süreyle anodize edilmiştir. Elde edilen yüzeyler optik mikroskopi, taramalı elektron mikroskobu, kesit üzerinden oksit tabaka kalınlığı ölçümleri ve üç boyutlu yüzey profilometrisi ile karakterize edilmiştir.

Sonuçlar, anodize oksit tabakasının işlem süresine bağlı olarak belirgin şekilde değiştiğini göstermiştir. Oksit tabaka kalınlığı 60 dakikaya kadar artarak yaklaşık 80,21 µm'ye ulaşmış, 90 dakikalık anodizasyon sonunda ise yaklaşık 55,40 µm'ye gerilemiştir. Bu durum, başlangıç ve orta aşamalarda oksit oluşumunun baskın olduğunu, uzun süreli anodizasyonda ise sülfürik asit kaynaklı kimyasal çözünmenin belirginleştiğini göstermektedir. SEM incelemeleri, artan işlem süresiyle birlikte yüzey homojenliği, lokal porozite ve morfolojik heterojenlikte değişimler meydana geldiğini ortaya koymuştur. Üç boyutlu profilometri sonuçları da faz kontrastı, basamak yüksekliği, yüzey pürüzlülüğü ve yüzey morfolojisinin anodizasyon süresine bağlı olarak değiştiğini göstermiştir. Genel olarak, anodizasyon süresinin oksit oluşumu ile kimyasal çözünme arasındaki dengeyi kontrol ederek tabaka kalınlığını, morfolojik bütünlüğü ve yüzey topografyasını belirlediği sonucuna ulaşılmıştır. İncelenen koşullarda 60 dakika, en yüksek oksit tabaka kalınlığının elde edildiği işlem süresi olmuştur.

Anahtar kelimeler: AA7075; sülfürik asit anodizasyonu; anodize oksit tabaka; yüzey morfolojisi; yüzey topografyası; anodizasyon süresi; alüminyum alaşımı

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF SULFURIC ACID ANODIZING TIME ON THE OXIDE LAYER MORPHOLOGY AND SURFACE TOPOGRAPHY OF AA7075 ALUMINUM ALLOY

ABSTRACT

AA7075 aluminum alloy is widely used in aerospace and high-performance structural applications owing to its high specific strength. However, its heterogeneous microstructure and Zn–Mg-rich secondary phases can affect the development and morphological stability of anodic oxide layers. In this study, the effect of sulfuric acid anodizing time on the oxide layer development, surface morphology, and topographical characteristics of AA7075 aluminum alloy was investigated. Following mechanical surface preparation and chemical pretreatment, the specimens were anodized in a 1.5 M H_2SO_4 electrolyte for 30, 60, and 90 min. The resulting surfaces were characterized by optical microscopy, scanning electron microscopy, cross-sectional oxide-layer thickness measurements, and three-dimensional surface profilometry.

The results showed that the anodic oxide layer changed significantly with processing time. The oxide-layer thickness increased up to 60 min, reaching approximately 80.21 µm, whereas extending the anodizing duration to 90 min reduced the thickness to approximately 55.40 µm. This behavior indicates that oxide formation dominated during the initial and intermediate stages, while prolonged exposure promoted increasing chemical dissolution of the anodic layer in the sulfuric acid electrolyte. SEM observations revealed time-dependent changes in surface uniformity, localized porosity, and morphological heterogeneity. Three-dimensional profilometry further showed distinct variations in phase contrast, step-height distribution, surface roughness, and surface morphology with increasing anodizing duration. Overall, the findings demonstrate that anodizing time governs the balance between oxide formation and chemical dissolution, thereby determining the final thickness, morphological integrity, and surface topography of the anodic oxide layer formed on AA7075 aluminum alloy. Under the investigated conditions, 60 min resulted in the highest oxide-layer thickness before dissolution became increasingly dominant at prolonged anodizing durations.

Keywords: AA7075; sulfuric acid anodizing; anodic oxide layer; surface morphology; surface topography; anodizing time; aluminum alloy

1. INTRODUCTION

AA7075 is one of the most widely used precipitation-hardenable aluminum alloys in aerospace and high-performance structural applications because of its high specific strength, fatigue resistance, and favorable strength-to-weight ratio. Its engineering performance is primarily associated with a Zn–Mg–Cu-based microstructure containing strengthening precipitates and intermetallic constituents; however, this compositional heterogeneity also produces a surface response that differs markedly from that of high-purity aluminum during electrochemical oxidation. Consequently, surface modification by anodizing remains an important route for tailoring the functional characteristics of AA7075 components (Zhu, 2024; Miranda et al., 2025).

Anodizing converts the aluminum surface into an adherent anodic aluminum oxide layer composed of a compact barrier region and a porous outer structure. The morphology and growth kinetics of this layer are strongly governed by electrolyte chemistry, current or voltage conditions, temperature, alloy temper, and processing time. Recent investigations have demonstrated that AA7075 develops less regular porous oxide structures than comparatively dilute aluminum alloys because Zn-, Mg-, and Cu-containing phases modify local oxidation and dissolution reactions. Pham et al. (2024) reported irregularly distorted pores and numerous cavities in anodized AA7075, while Sano and Asoh (2025) showed that the distribution of

alloying elements and temper condition strongly affects film porosity, formation efficiency, and hardness. Similar observations were reported by Sano et al. (2023), who associated horizontal pore development in sulfuric-acid-anodized AA7075-T6 with chemical dissolution occurring during film growth.

Recent research has therefore increasingly focused on controlling anodic film morphology through electrolyte modification and process optimization. Raffin et al. (2023) demonstrated that anodizing duration alters oxide thickness and microstructural stability in tartaric–sulfuric acid systems, emphasizing the importance of time-dependent film development. Cabral-Miramontes et al. (2024) showed that citric-acid-containing hard-anodizing baths significantly modify the morphology and performance of anodic layers formed on AA7075 and other aluminum alloys. Likewise, Lüle Şenöz and Siren (2025) reported substantial variations in coating thickness and hardness when different carboxylic acids were introduced into sulfuric-acid electrolytes. More recently, Sihombing et al. (2026) demonstrated that oxalic-acid additions affect pore-like surface features and microhardness during hard anodizing of AA7075. Advanced processing approaches, including localized two-phase jet anodizing and modified tartaric-acid-containing baths, have further confirmed that oxide thickness, surface topography, and morphological integrity are highly sensitive to electrochemical processing conditions (Quitzke et al., 2025; Miranda et al., 2026).

Despite these advances, the direct influence of prolonged anodizing time on the morphological evolution and surface topography of AA7075 in a conventional sulfuric acid electrolyte remains comparatively less documented. In particular, the transition from oxide-layer growth to electrolyte-induced chemical dissolution at extended treatment durations requires further clarification. Therefore, the present study investigates the effect of sulfuric acid anodizing time on the oxide-layer thickness, surface morphology, and three-dimensional topographical characteristics of AA7075 aluminum alloy by comparing specimens anodized for 30, 60, and 90 min.

Table 1. Examples of commercial products utilizing rare earth element

REE	Commercial product
Neodymium (Nd), praseodymium (Pr), terbium (Tb) dysprosium (Dy)	Mobile phones, computer hard drives, cameras
Nd, Pr, Dy, La, Ce	Hybrid electric vehicles, high-capacity batteries, infrared lasers
Eu, Y, Tb, La	Energy-efficient light bulbs
Ce, La, neodymium (Nd), Eu	Glass additives
Eu, Y, Er	Fiber-optic lines, fiber-optic amplifiers
Promethium (Pm)	Portable x-ray equipment
Scandium (Sc)	High-intensity flood lights for stadiums
Samarium (Sm)-cobalt (Co)	Permanent magnets for electric motors, widely deployed in hybrid electric vehicles

2. MATERIAL AND METHODS

2.1. Material and Surface Preparation

Commercial AA7075 aluminum alloy supplied in sheet form was used as the substrate material. The specimens were cut to dimensions of 26.5 × 22 × 3 mm, corresponding to an exposed surface area of approximately 0.147 dm^2. A small hole was drilled near the corner of each specimen to establish electrical contact during anodizing. Conductive copper wires were passed through the holes, while the contact regions were carefully insulated to minimize undesirable coating defects during electrochemical treatment.



Figure 1. AA7075 specimen preparation and anodizing setup

Prior to anodizing, the specimen edges were ground using 180-grit abrasive paper, whereas the principal surfaces were sequentially ground using 400, 600, 800, 1000, and 1200 grit SiC abrasive papers to obtain a reproducible surface condition. The mechanically prepared specimens were subsequently subjected to chemical cleaning and surface activation. Initially, the specimens were immersed in hot water at approximately 90 °C for 3 min, followed by immersion in an NaOH solution for 2 min. After rinsing with distilled water, the specimens were immersed in a 20 vol.% HNO_3 solution for 2 min to remove surface residues generated during alkaline treatment and to provide a clean and activated surface prior to anodizing.

2.2. Sulfuric Acid Anodizing

Anodizing was performed in a 1.5 M H_2SO_4 aqueous electrolyte. The electrolyte volume was maintained at approximately 250 mL. During anodizing, AA7075 specimens served as the anode, while a stainless-steel electrode was positioned as the counter electrode. The anode and cathode were aligned opposite each other at an approximately equal immersion level to promote a uniform electrical field distribution.

The anodizing system was externally cooled using an ice-assisted cooling arrangement to limit electrolyte heating during electrochemical oxidation. The power supply was operated under current-controlled conditions, while the applied voltage increased automatically with progressive oxide-film formation. Three anodizing durations, 30, 60, and 90 min, were selected to investigate the time-dependent development of the anodic oxide layer. Following anodizing, the specimens were removed from the electrolyte and prepared for subsequent morphological and topographical characterization.

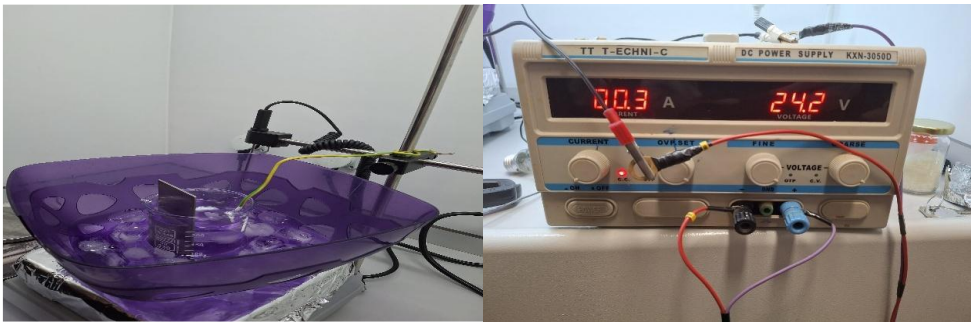


Figure 2. Anodizing bath and parameters

Table 1. Experimental conditions for sulfuric acid anodizing of AA7075

Parameter	Experimental Condition
Substrate	AA7075 aluminum alloy
Specimen dimensions	26.5 × 22 × 3 mm
Exposed area	0.147 dm^2
Surface grinding	400, 600, 800, 1000, 1200 grit
Hot-water cleaning	~90 °C, 3 min
Alkaline treatment	NaOH, 2 min
Surface activation	20 vol.% HNO_3, 2 min
Electrolyte	1.5 M H_2SO_4
Electrolyte volume	250 mL
Anode	AA7075
Cathode	Stainless steel
Cooling	Ice-assisted external cooling
Anodizing times	30, 60, 90 min

2.3. Microstructural and Surface Characterization

The effect of anodizing duration on the surface and cross-sectional characteristics of AA7075 was evaluated using optical microscopy and field-emission scanning electron microscopy (FESEM). Surface FESEM observations were conducted at magnifications of 5,000×, 25,000×, and 50,000×, while cross-sectional examinations were performed to evaluate anodic oxide-layer development and thickness.

For each anodizing condition, both surface and cross-sectional micrographs were obtained to comparatively assess morphological uniformity, localized surface features, porosity-related characteristics, and oxide-layer continuity. The thesis contains separate FESEM datasets for the AA7075 specimens anodized for 30, 60, and 90 min.

Surface topography was further investigated using three-dimensional profilometry. Phase-contrast maps, step-height distributions, surface-roughness maps, and three-dimensional surface reconstructions were obtained for the specimens anodized for 30, 60, and 90 min, allowing the evolution of surface morphology with anodizing duration to be comparatively evaluated.

Table 2. Contamination categories related to the values of the enrichment factor

	Value	Contamination category
Enrichment factor	EF < 2	Deficiency to minimal enrichment
	2 ≤ EF < 5	Moderate enrichment
	5 ≤ EF < 20	Significant enrichment
	20 ≤ EF < 40	Very high enrichment
	EF ≥ 40	Extremely enrichment

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. Surface Morphology of the Anodized AA7075 Alloy

The surface morphology of AA7075 exhibited a pronounced dependence on anodizing duration. Optical microscopy revealed visible changes in surface appearance among the specimens anodized for 30, 60, and 90 min, indicating that the progressive development of the anodic oxide layer altered the surface condition at the microscale. The corresponding optical micrographs were obtained at 50× and 100× magnifications for each anodizing condition.

More detailed differences were observed by FESEM. After 30 min of anodizing, the surface exhibited a heterogeneous morphology containing locally irregular regions and surface discontinuities. At higher magnifications, a fine textured oxide morphology together with dispersed surface features was observed. Increasing the anodizing duration to 60 min resulted in a comparatively more continuous surface morphology. The 25,000× images showed a relatively homogeneous oxide-covered surface with fewer pronounced cavities than those observed after prolonged treatment.

In contrast, the specimen anodized for 90 min exhibited distinctly increased morphological heterogeneity. The surface contained localized cavities and irregular depressions that became particularly evident at 25,000× and 50,000× magnifications. This evolution indicates that prolonged exposure to the sulfuric acid electrolyte increasingly promoted chemical dissolution of the anodic oxide layer. Such behavior is consistent with the observations of Sano et al. (2023), who reported the formation of additional horizontal pores in AA7075-T6 anodized in 1.5 M sulfuric acid and attributed them to chemical dissolution occurring during anodic film growth. More recently, Sano and Asoh (2025) demonstrated that the distribution of Zn- and Cu-containing phases in AA7075 strongly affects anodic film morphology and may promote excessive dissolution and increased porosity.

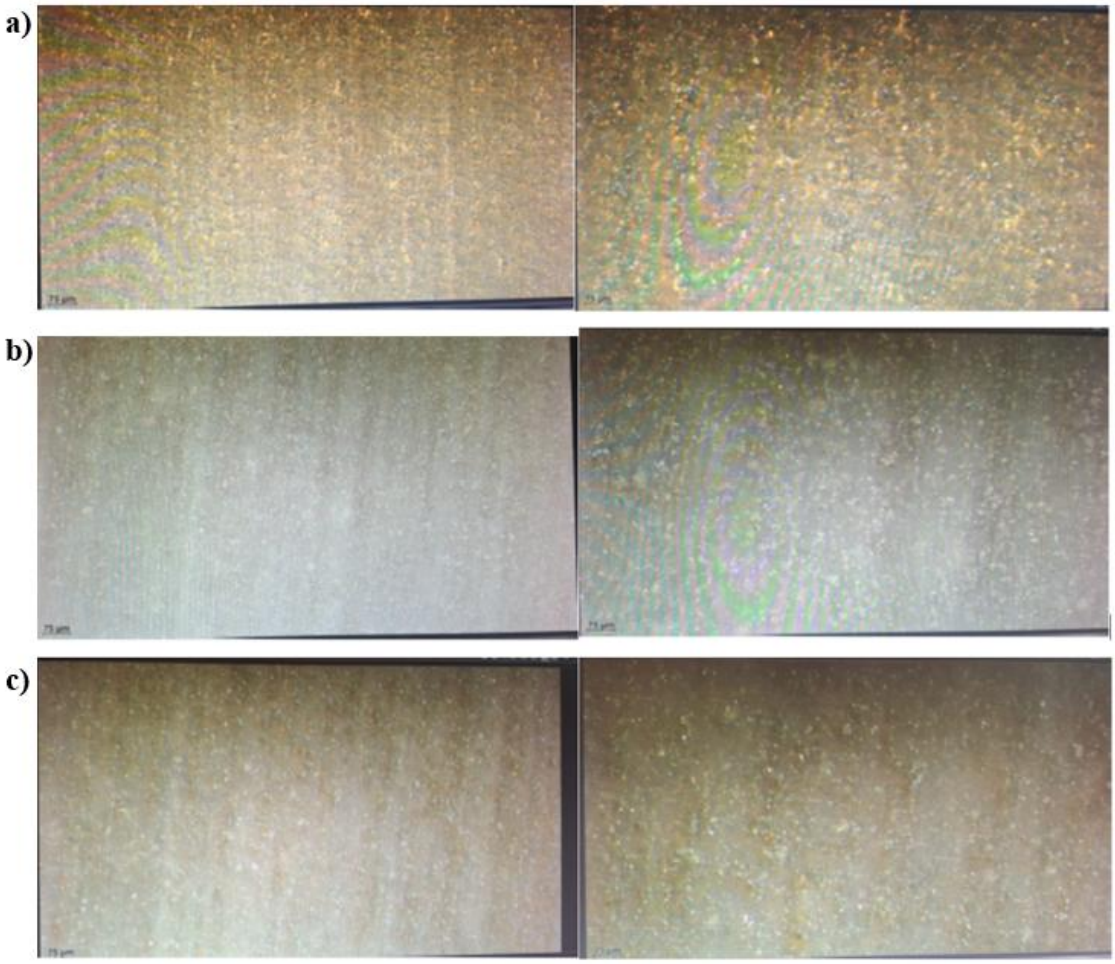


Figure 3. Optical micrographs at 50× and 100× magnifications a) 30 min b) 60 min c) 90 min

3.2. Evolution of Anodic Oxide Layer Thickness

Cross-sectional FESEM observations demonstrated a non-linear relationship between anodizing duration and oxide-layer thickness. After 30 min, the anodic layer thickness was approximately 32.47 µm. The oxide thickness increased markedly with increasing anodizing duration and reached approximately 80.21 µm at 60 min. When the anodizing duration was extended to 90 min, however, the layer thickness decreased to approximately 55.40 µm. The cross-sectional images corresponding to these conditions are presented in the thesis as Figures 4.31, 4.35, and 4.39. The overall trend reported in the thesis confirms that film growth proceeded continuously up to 60 min, whereas prolonged anodizing caused significant thickness loss due to the increasing contribution of chemical dissolution.

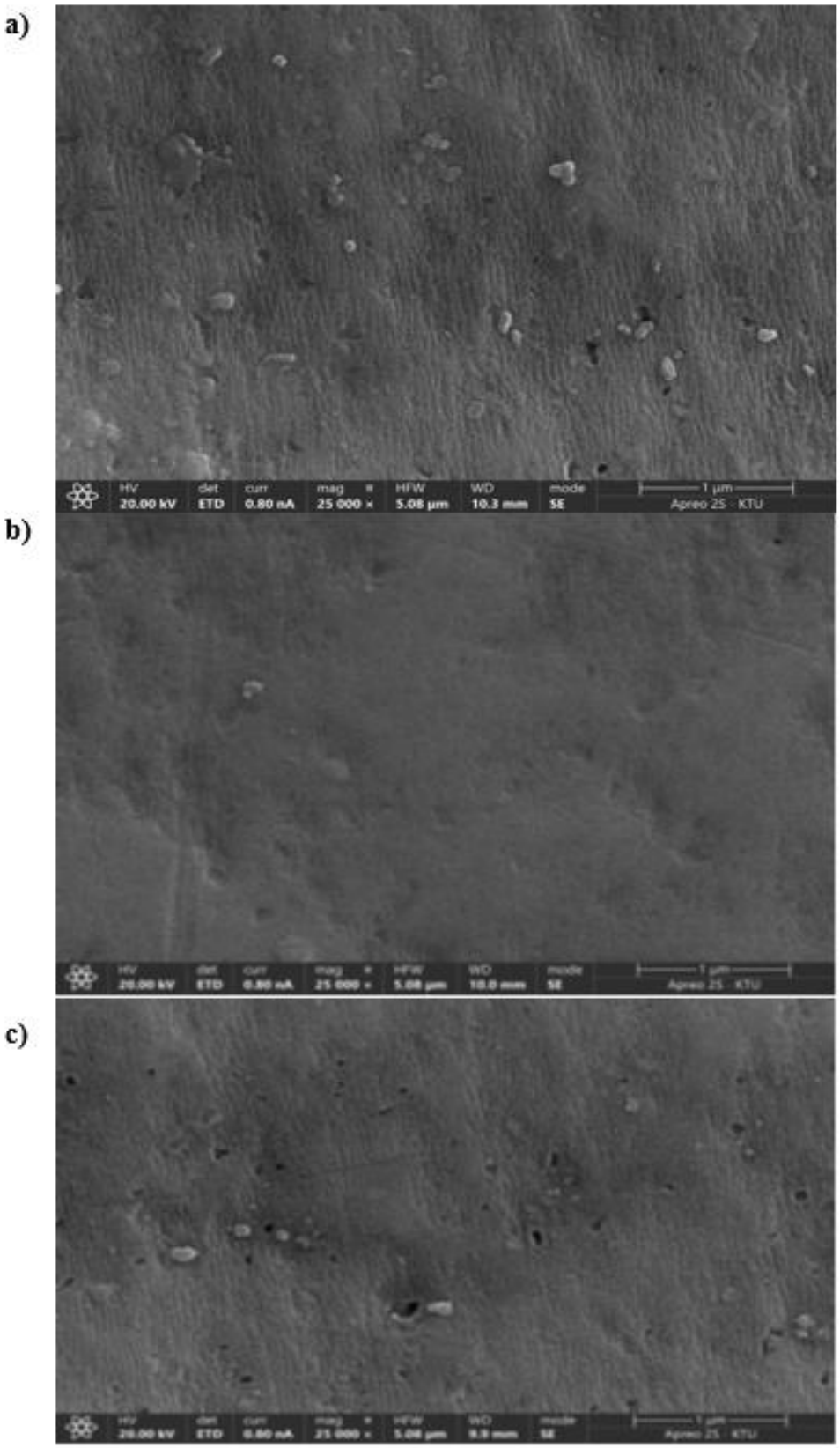


Figure 4. FE-SEM surface morphologies of AA7075 specimens anodized in 1.5 M H_2SO_4 for (a) 30 min, (b) 60 min, and (c) 90 min at 50,000× magnification.

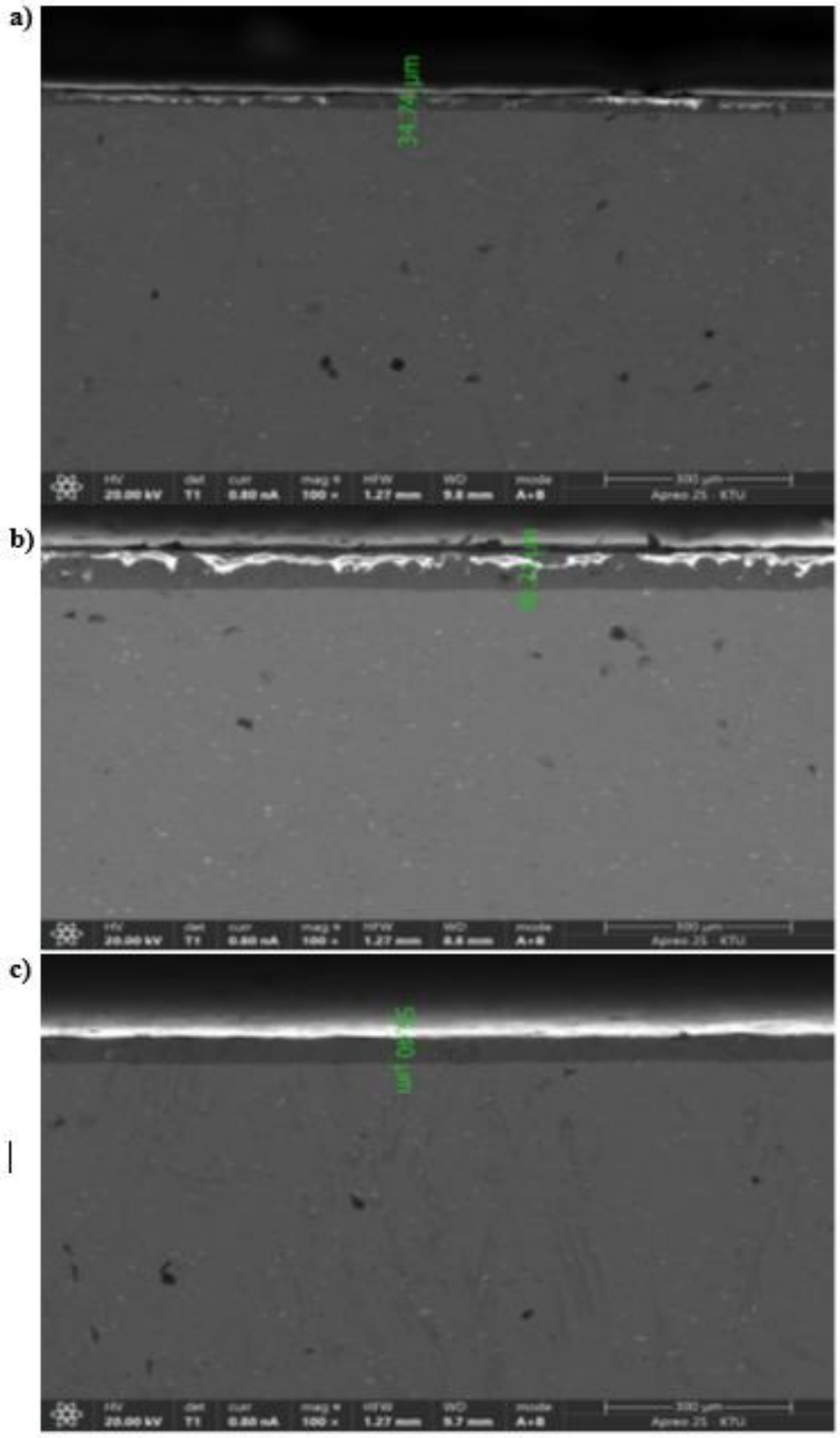


Figure 5. Cross-sectional FESEM images showing the evolution of anodic oxide-layer thickness on AA7075 after anodizing for (a) 30 min, (b) 60 min, and (c) 90 min.

The increase from approximately 32.47 to 80.21 µm between 30 and 60 min indicates that field-assisted oxide formation initially dominated the process. During this stage, outward migration of Al-containing species and inward transport of oxygen-containing ions promoted progressive development of the porous anodic layer. Beyond this stage, however, continuous exposure of the oxide to the acidic electrolyte intensified dissolution at the oxide/electrolyte interface and within the porous structure. Consequently, the reduction to 55.40 µm at 90 min suggests that the net film-growth rate became lower than the dissolution rate under the investigated conditions.

This interpretation agrees with Raffin et al. (2023), who demonstrated that anodizing time plays a decisive role in the balance between anodic film formation and dissolution and that extending treatment duration does not necessarily produce a proportionally thicker or more stable oxide layer. The present results are also compatible with the findings of Sano et al. (2023), in which chemical dissolution during sulfuric acid anodizing modified the internal pore morphology of AA7075.

3.3. Surface Topography and Three-Dimensional Profilometry

Three-dimensional profilometry provided complementary evidence for the morphological evolution identified by FESEM. The 30-min anodized specimen exhibited a heterogeneous but relatively distributed surface profile, as reflected by its phase-contrast, step-height, roughness, and three-dimensional topographical maps. After 60 min, the topographical features remained distributed across the analyzed area, corresponding to the stage at which the maximum oxide-layer thickness was obtained.

A more pronounced topographical modification was observed after 90 min. The phase-contrast and three-dimensional maps indicated an increasingly heterogeneous surface distribution, consistent with localized dissolution and morphological degradation of the anodic layer. According to the Z-axis analysis reported in the thesis, excessive anodizing reduced the surface peak level to approximately +33 µm, while local depressions extended to approximately −45 µm, demonstrating asymmetric development of peaks and valleys at prolonged processing times.

The combined FESEM and profilometry results therefore suggest that the reduction in oxide-layer thickness observed after 90 min was accompanied by a redistribution of surface relief rather than a simple uniform thinning of the film. Preferential chemical dissolution at locally reactive regions can generate cavities, depressions, and non-uniform surface features, particularly in a compositionally heterogeneous alloy such as AA7075. This interpretation is consistent with recent studies demonstrating that constituent phases and alloying-element distributions strongly affect anodic film growth and morphology in AA7075 (Sano & Asoh, 2025). Cabral-Miramontes et al. (2024) similarly reported that intermetallic phases can significantly influence the morphology and defect structure of anodic layers formed on high-strength aluminum alloys.

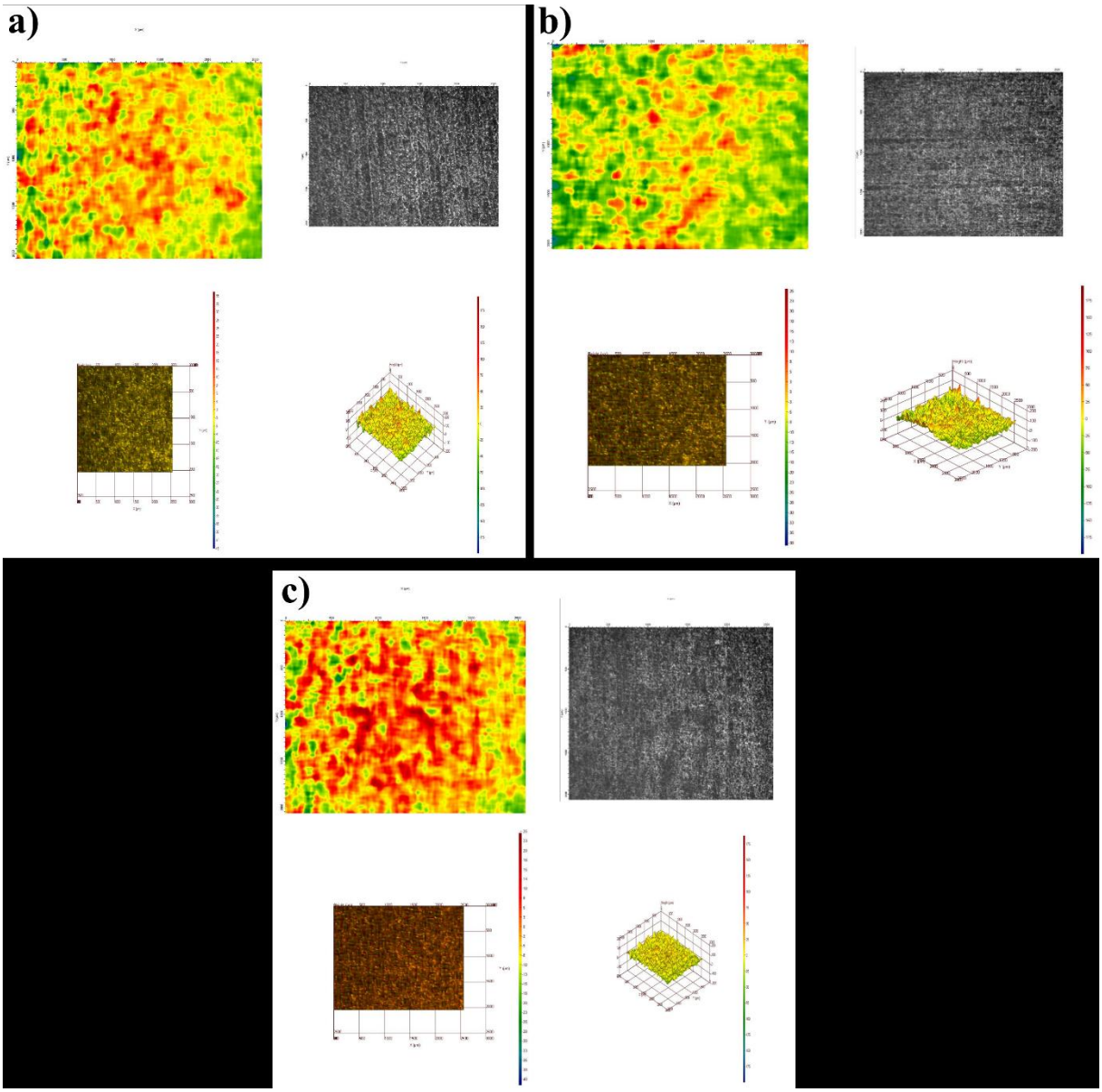


Figure 6. Phase-contrast maps and corresponding three-dimensional surface topographies of AA7075 anodized for a)30, b) 60, and c) 90 min.

3.4. Relationship Between Anodizing Time, Film Growth and Morphological Stability

The combined results reveal three distinguishable stages in the anodizing behavior of AA7075 under the investigated conditions. At 30 min, a continuous anodic layer had already developed, although its thickness remained comparatively limited. Extending the process to 60 min significantly increased the oxide-layer thickness to 80.21 µm and produced a comparatively continuous surface morphology. At this stage, oxide formation remained the dominant process. In contrast, extending the anodizing duration to 90 min resulted in simultaneous thickness reduction, increased surface cavities, and enhanced topographical heterogeneity.

These observations demonstrate that anodizing time should not be considered solely as a parameter for continuously increasing coating thickness. Instead, the final oxide morphology results from a dynamic competition between field-assisted oxide formation and acid-assisted chemical dissolution. For AA7075, this competition is additionally influenced by its

heterogeneous alloy chemistry. Recent investigations have shown that Zn-, Mg-, and Cu-containing regions alter local anodizing behavior and can promote porous or defective oxide development (Sano & Asoh, 2025).

Accordingly, the present results indicate that 60 min represents the condition associated with the maximum measured oxide-layer thickness under the applied 1.5 M H_2SO_4 anodizing conditions, whereas further extension to 90 min promotes net oxide loss and deterioration of surface uniformity. This finding is important for controlling the morphology and dimensional stability of anodized AA7075 surfaces, particularly where uniform oxide-layer development is required.

4. Conclusions

This study demonstrated that sulfuric acid anodizing time has a decisive influence on the growth, morphology, and topographical characteristics of the anodic oxide layer formed on AA7075 aluminum alloy. The results showed that oxide formation and electrolyte-induced dissolution compete throughout the anodizing process, and that prolonged treatment does not necessarily lead to a continuously thicker or more uniform anodic film.

- The anodic oxide layer thickness increased from approximately 32.47 µm at 30 min to 80.21 µm at 60 min, indicating that oxide growth was dominant during the initial and intermediate stages of anodizing.
- Extending the anodizing duration to 90 min reduced the oxide-layer thickness to approximately 55.40 µm, demonstrating the increasing contribution of sulfuric-acid-induced chemical dissolution at prolonged treatment times.
- FESEM observations revealed clear time-dependent changes in surface morphology, with the 90 min specimen exhibiting increased local cavities, surface irregularities, and morphological heterogeneity compared with the shorter anodizing conditions.
- Three-dimensional profilometry confirmed that prolonged anodizing significantly modified the surface relief, producing asymmetric peak and valley distributions and increasing topographical heterogeneity.
- Under the investigated 1.5 M H_2SO_4 anodizing conditions, 60 min was identified as the processing condition that produced the maximum measured oxide-layer thickness, whereas further extension of anodizing time promoted net oxide loss and deterioration of morphological uniformity.

REFERENCES

Cabral-Miramontes, J., Almeraya-Calderón, F., Méndez-Ramírez, C. T., Flores-De los Rios, J. P., Maldonado-Bandala, E., Baltazar-Zamora, M. Á., Nieves-Mendoza, D., Lara-Banda, M., Pedraza-Basulto, G., & Gaona-Tiburcio, C. (2024). Effect of citric acid hard anodizing on the mechanical properties and corrosion resistance of different aluminum alloys. Materials, 17(17), 4285. https://doi.org/10.3390/ma17174285

Lüle Şenöz, G. M., & Siren, E. (2025). Effects of carboxylic acid additive on hard anodizing of Al7075 aluminum alloy. Journal of Engineering Sciences and Design, 13(3), 1013–1022. https://doi.org/10.21923/jesd.1371302

Miranda, R., Luciano, M., Fiore, V., Di Franco, F., Santamaria, M., & Valenza, A. (2025). Enhanced mechanical performances and corrosion resistance of carbon fibre reinforced PEEK-aluminium alloy fiber metal laminates through an innovative two-step electrochemical treatment. Surfaces and Interfaces, 58, 105831. https://doi.org/10.1016/j.surfin.2025.105831

Miranda, R., Zaffora, A., Fiore, V., Di Franco, F., Santamaria, M., & Valenza, A. (2026). Tuning anodizing conditions in tartaric acid containing bath for strengthening fiber metal

laminates with PEEK/carbon in composite for aerospace applications. Surfaces and Interfaces, 80, 108215. https://doi.org/10.1016/j.surfin.2025.108215

Pham, H. V., Kwon, D., Kim, J., Kim, R., & Moon, S. (2024). Formation behavior of anodizing films on various aluminum alloys in oxalic acid solution. Materials Chemistry and Physics, 315, 128953. https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2024.128953

Quitzke, S., Danilov, I., Morgenstern, R., Martin, A., Lampke, T., & Schubert, A. (2025). Microstructure and topography of laterally confined porous anodic oxides produced with high growth rate in a maskless two-phase jet setup. Journal of Applied Electrochemistry, 55, 753–768. https://doi.org/10.1007/s10800-024-02192-y

Raffin, F., Echouard, J., & Volovitch, P. (2023). Influence of the anodizing time on the microstructure and immersion stability of tartaric-sulfuric acid anodized aluminum alloys. Metals, 13(5), 993. https://doi.org/10.3390/met13050993

Sano, T., & Asoh, H. (2025). Effect of alloying elements on the morphology of anodic films formed on 7075 aluminum alloys tempered under different conditions via anodization in sulfuric acid. Results in Surfaces and Interfaces, 21, 100650. https://doi.org/10.1016/j.rsurfi.2025.100650

Sano, T., Wakabayashi, Y., & Asoh, H. (2023). Formation of hard anodic films on the 7075-T6 aluminum alloy by anodization in sulfuric acid and ethylene glycol. Surface and Coatings Technology, 459, 129399. https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2023.129399

Sihombing, R. P., Hulupi, M., Puspita, N., & Alamsari, J. P. (2026). Effect of oxalic acid addition on hardness and pore-like surface feature morphology of AA7075 oxide layer via hard anodizing. JKPK (Jurnal Kimia dan Pendidikan Kimia), 11(2), 205–219. https://doi.org/10.20961/jkpk.v11i2.118429

RAG İLE GÜÇLENDİRİLMİŞ LLM TABANLI HUKUKİ YARDIMCININ GELİŞTİRİLMESİ VE CEVAP YETERLİLİĞİNİN DETERMİNİSTİK VE STOKASTİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Mehmet Serhan DÜZCE
Bolu Abant İzzet Baysal University, Faculty of Engineering, 14030, Gölköy, Bolu
ORCID ID: 0009-0003-6558-6364
Assist. Prof. Dr. Mehmet MİLLİ
Bolu Abant İzzet Baysal University, Faculty of Engineering, 14030, Gölköy, Bolu
ORCID ID: 0000-0002-0759-4433

ÖZET
Büyük dil modelleri (BDM) hukuk gibi bilgi yoğun alanlarda umut verici olsa da, eğitim verisiyle sınırlı ve güncelliğini yitirebilen bilgileri nedeniyle hatalı ya da uydurma (halüsinasyon) cevaplar üretebilmektedir. Bu çalışmada, Retrieval-Augmented Generation (RAG) yöntemi bir BDM ile birleştirilerek Türk aile hukuku alanında, özellikle nafaka konusunda, bir hukuki yardımcı geliştirilmiş ve üretilen cevapların yeterliliği deterministik ve stokastik açıdan değerlendirilmiştir. Mevzuat ve Yargıtay kararlarından oluşan ikili bir külliyat derlenmiş; BGE-M3 ile hibrit (yoğun ve seyrek) geri getirim ve çapraz kodlayıcıyla yeniden sıralama uygulanmıştır. Yerel Qwen3.5-4B ile buluttaki Llama-4-Scout-17B-16E ve Gemma-4-31B modelleri, soru tipi (kapalı/açık) ve çözümleme stratejisi (aç gözlü/örnekleme) eksenlerinde karşılaştırılmıştır. Bulgular, RAG katkısının modelin kendi bilgisiyle ters yönde değiştiğini (iki küçük modelde büyük ve güçlü biçimde anlamlı, en büyük modelde daha küçük ama olumlu); RAG'ın örnekleme altında tutarlılığı belirgin biçimde iyileştirdiğini ve doğru maddeye atıf oranını tama yakın düzeye taşıdığını göstermektedir. Bilgi tabanının sorgu anında değiştirildiği deney, cevap doğruluğunun harici bilgi tabanını izlediğine işaret etmektedir. Buna karşılık RAG, takdire bağlı cevaplarda çekince ifadelerini azaltmakta ve eski kararlardaki tutarları bağlama taşıyarak sahte kesinlik riski doğurmaktadır; bu riske karşı parasal değerleri TÜİK enflasyon endeksiyle güncelleyen deterministik bir tasarım uzantısı önerilmiştir. Sonuçlar, RAG tabanlı hukuki yardımcıların erişilebilir donanımda uygulanabilir olduğunu ancak kritik alanlarda dikkatli kullanım gerektirdiğini ortaya koymaktadır.
Anahtar Kelimeler: Büyük Dil Modelleri, Retrieval-Augmented Generation, Hukuki Yardımcı, Bilgi Getirimi, Model Değerlendirmesi

DEVELOPMENT OF A RAG-AUGMENTED LLM-BASED LEGAL ASSISTANT AND EVALUATION OF RESPONSE ADEQUACY FROM DETERMINISTIC AND STOCHASTIC PERSPECTIVES

ABSTRACT
Large language models (LLMs) hold promise for knowledge-intensive fields such as law, yet their knowledge is bounded by training data and may grow stale, so they can produce erroneous or fabricated (hallucinated) answers. In this study, a Retrieval-Augmented Generation (RAG) pipeline was combined with an LLM to develop a legal assistant for Turkish family law, focusing on alimony, and the adequacy of the generated answers was evaluated from deterministic and stochastic perspectives. A dual corpus of legislation and Court of Cassation judgments was compiled; hybrid (dense and sparse) retrieval with BGE-M3 and re-ranking with a cross-encoder were applied. The local Qwen3.5-4B was compared against the cloud-hosted Llama-4-Scout-17B-16E and Gemma-4-31B models along the axes of question type (closed/open-ended) and decoding strategy (greedy/sampling). The findings show that the

contribution of RAG decreases as the model's own knowledge increases, being large and robust in the two smaller models and smaller but positive in the largest; that it markedly improves consistency under sampling; and that it raises the rate of citing the correct statutory article to near-perfect levels. The experiment in which the knowledge base is modified at query time indicates that answer accuracy tracks the external knowledge base. Conversely, RAG reduces hedging in discretionary answers and, by carrying amounts from dated judgments into the context, creates a risk of false precision; as a countermeasure, a deterministic design extension that updates monetary values with the TÜİK inflation index is proposed. The results demonstrate that RAG-based legal assistants are viable on consumer-grade hardware but require careful use in critical domains.

Keywords: Large Language Models, Retrieval-Augmented Generation, Legal Assistant, Information Retrieval, Model Evaluation

INTRODUCTION

Large language models (LLMs) have begun to be used in knowledge-intensive domains, including law, owing to their ability to generate fluent and contextually appropriate natural-language text. Their utility, however, is constrained by two structural limitations: the model's knowledge is bounded by its training data and does not cover regulations changed after training or newly issued case law; moreover, since a model can produce confident-sounding text even on topics it does not know, the risk of fabricated (hallucinated) content is ever-present (Ji et al., 2023). In law, where accuracy and currency are imperatives rather than preferences, these limitations are particularly detrimental. It has been shown empirically that general-purpose models exhibit systematic hallucination on legal questions (Dahl et al., 2024) and that even leading commercial legal research tools suffer from reliability problems (Magesh et al., 2025). Retrieval-Augmented Generation (RAG) responds to both problems at once: relevant texts fetched from an external, updatable knowledge base are appended to the model's context at inference time, without any retraining (Lewis et al., 2020). When the knowledge base is updated, the answers update as well; and because the answers are grounded in the retrieved sources, they become verifiable. Retrieval augmentation has also been shown to reduce hallucination in conversational settings (Shuster et al., 2021). RAG and its evaluation form a rapidly growing literature (Gao et al., 2023); nevertheless, models do not always use the retrieved context correctly, which makes evaluation a distinct research problem (Chen, Lin, et al., 2024).

Turkish legal NLP studies have mostly focused on specific tasks such as named-entity recognition and text classification (Çetindağ et al., 2023); domain-specific models such as HukukBERT (Öztürk et al., 2026) and an end-to-end RAG framework for Turkish legal texts (Erkan, 2025) have been proposed. However, no systematic evaluation was found that jointly measures the accuracy, consistency, and citation reliability of a source-grounded legal question-answering assistant. This study targets precisely that gap: it moves evaluation beyond a single accuracy number by also measuring consistency, citation reliability, and updatability. The evaluation approach is not domain-specific: law was chosen as the application domain because its verifiable gold answers (article numbers), changing legislation, auditable citations, high cost of error, and time-dependent monetary values make it a demanding test bed for the general questions of RAG evaluation. The contributions of the study are as follows: (i) a legal RAG pipeline built from open-source software components and open-weight models that can run end-to-end on a single consumer-grade machine with the local model; (ii) a retrieval gold set derived automatically from the statutory articles cited by judgments, together with closed (101 questions) and open-ended (25 questions) evaluation sets in three difficulty tiers (A/B/C),

prepared with AI assistance and grounded in the corpus; (iii) a comparison of three models in a 2×2 design with bootstrap confidence intervals and paired McNemar tests, plus an ablation of the retrieval components over the full corpus; (iv) a deterministic citation audit checking the legal citations in answers at three levels (existence, context groundedness, and gold agreement), and an updatability experiment based on modifying the knowledge base at query time; (v) empirical findings on the relation of the RAG gain to the model's own knowledge, the gains in consistency and citation reliability, and the loss of caveats in discretionary answers, together with a breakdown of flags that shows the limits of the rule-based overconfidence indicator; and (vi) a deterministic design extension that updates monetary values with the TÜİK inflation index as a countermeasure to the false-precision risk posed by amounts carried over from dated judgments.

RESEARCH AND FINDINGS

The study uses two distinct corpora: primary legislation and case law. This dual structure is deliberate: a legal question typically calls for both the relevant statutory article and the judgments illustrating how that article is applied. On the legislation side, 20 statutes pertaining to family law, foremost the Turkish Civil Code No. 4721 (TMK), as in force on 20 September 2025, were converted into structured Markdown; on the case-law side, judgments of the 2nd Civil Chamber of the Court of Cassation (Yargıtay) were collected from the UYAP Precedent System (3,353 judgments with decision years 2023–2024). Legislation was chunked at its natural unit—the statutory article—using the identity schema {kanun_no}::madde_{n} (statute number and article number), while judgments were chunked at the section level; the resulting 34,077 chunks were embedded with BGE-M3 (Chen, Xiao, et al., 2024) and indexed in a hybrid manner in the open-source Qdrant vector database. The dense component captures semantic proximity (Karpukhin et al., 2020), while the sparse component captures exact term matches such as article numbers and technical terms; the assumption that both are useful for legal text was tested with a retrieval ablation.

The query pipeline is summarized in Figure 1: after the query is embedded, a hybrid (dense + sparse) search is run over Qdrant and the two result lists are merged with reciprocal rank fusion (RRF; Cormack et al., 2009); legislation and judgment chunks are retrieved in separate slices (balanced retrieval), so that both sources are represented in the context and neither can crowd out the other. Optionally, a wider candidate pool (20 chunks) is re-scored against the query with a cross-encoder, and the top-scoring chunks are retained in the context (Nogueira & Cho, 2019). In both cases, three legislation chunks and three judgment chunks enter the language model's context.

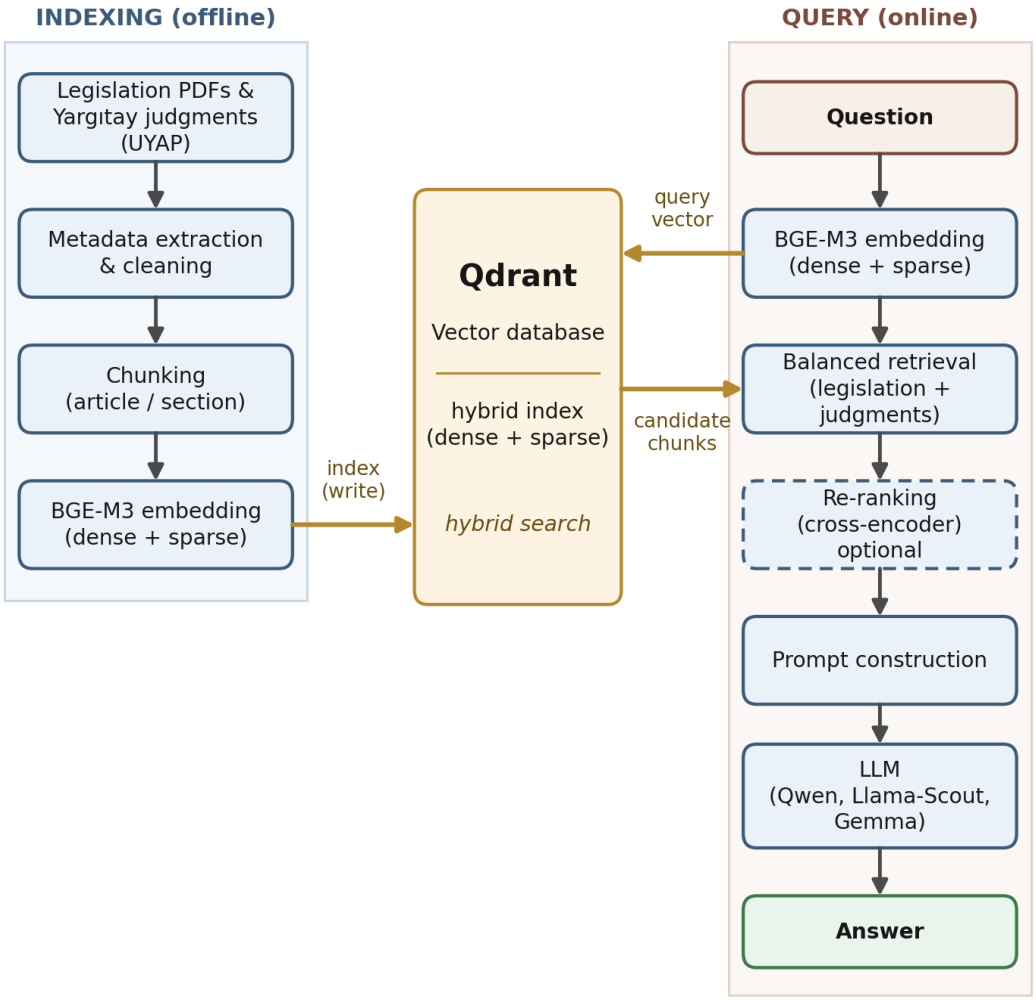


Figure 1: General architecture of the system: indexing (offline) and query (online) stages.

Three open models were included in the comparison: Qwen3.5-4B (Qwen Team, 2026) served locally via llama.cpp; Llama-4-Scout-17B-16E (Meta AI, 2025), with a 16-expert mixture-of-experts (MoE) architecture and roughly 17 billion active parameters; and Gemma-4-31B (Gemma Team, 2026). Model diversity is deliberate: the small–large, local–cloud, and dense–MoE axes are all covered; "small" and "large" refer to the number of parameters active per step (4, about 17, and 31 billion). Each model runs on its own backend with its default settings; only Qwen runs on local hardware.

The evaluation rests on a 2×2 design crossing question type (closed/open-ended) with decoding strategy (greedy, temperature 0; sampling, temperature 0.7 with five repetitions). The closed set contains 101 questions in three difficulty tiers: A (54 questions) tests core family-law knowledge; B (29 questions) tests obscure or recently amended legislative detail (e.g., the 2024 amendment to TMK Article 166/4); C (18 questions) tests information answerable only from the corpus, specific to particular Court of Cassation judgments. The open set consists of 25 questions requiring interpretation and discretion. The retrieval gold set (3,193 queries) was derived automatically from the judgments: the "Dispute and Legal Characterization" text of each judgment served as the query, and the articles cited in its "Relevant Law" section as the

correct answers; statute references in the query text were removed to prevent information leakage (Table 1).

Table 1: Composition of the evaluation sets.

Set	Size	Subtypes	Source
Retrieval gold	3,193	statute citations	Judgment "Relevant Law" (automatic)
Closed	101	yes/no, article, factual; tiered A/B/C	AI-assisted, checked against corpus text
Open	25	explanatory, numeric, increment, discretion	AI-assisted (rubric)

Retrieval performance was evaluated with Hit@k, MRR, and nDCG@k (Järvelin & Kekäläinen, 2002) for k = 1, 3, 5, 10. Closed-set accuracy is determined by rules that depend on the question type: numeric match for article questions, substring match for factual questions (allowing for Turkish consonant softening and "değil" negation), and the first stance word for yes/no questions. Open-ended answers are graded with a rubric along the dimensions of factor coverage, overconfidence (an uncaveated TL figure not given in the question, in numeric and increment questions; no caveat wording in discretionary questions), order-of-magnitude adequacy, and consistency across samples; under sampling, self-consistency measures (Wang et al., 2023) are also computed. Proportion metrics are accompanied by 95% bootstrap confidence intervals at the question level (B=10,000; Efron, 1979); condition comparisons were tested with the exact paired McNemar test (McNemar, 1947), with Holm correction (Holm, 1979) for multiple comparisons. That the scoring is largely rule-based is a deliberate choice: using a language model as judge would create circularity if the judge were one of the evaluated models, and would harm reproducibility; the rubric should be read as the rule-based counterpart of the dimensions of automated RAG evaluation frameworks (Es et al., 2024).

The legal citations in the answer texts were likewise parsed with rules; for each article citation it was checked whether it exists in the corpus (existence), whether it appears in the retrieved context of that answer (context groundedness), and—for article-type questions—whether it agrees with the gold answer (gold agreement). The local components (retrieval, re-ranking, the local model, and scoring) were run on a single consumer-grade laptop (RTX 3050 Ti, 4 GB VRAM; 40 GB system RAM), and the two cloud models were accessed via APIs; all software components are open-source and all models are open-weight.

Legislation retrieval was measured on the full gold set (3,193 queries; Table 2). Re-ranking with a pool of 20 yields significant improvement at every depth (paired McNemar; $p=0.002$ for Hit@1, $p<0.001$ for Hit@5 and Hit@10). The axis of the trade-off is pool size: the small pool (10) improves the top rank the most but barely changes Hit@10 (0.843 -> 0.844); the large pool (50) is best at deep recall yet forfeits the top-rank gain. The relatively low nDCG values are not a failure but a consequence of multiple articles typically being attributed to a single decision, which raises the gain of the ideal ranking used for normalization. The retrieval ablation produced two sharp results: when the type filter is removed and legislation and judgment chunks compete in a single pool, the system collapses (Hit@10 0.007). Because queries are derived from judgment texts, 30,423 judgment chunks completely bury the 3,654 legislation chunks. Although this sharpness partly stems from the evaluation setup (each query is the text of a judgment in the corpus), balanced retrieval still guarantees that both sources are represented in the context. At the signal level, the hybrid combination is significantly ahead at Hit@1 (0.548

versus 0.479; p<0.001); within the first three legislation chunks that enter the context in production (Hit@3) and at deeper ranks, dense-only retrieval is better (Hit@3 0.729 versus 0.676); with re-ranking, the hybrid pipeline rises above this level (0.746).

Table 2: Legislation retrieval performance (3,193 queries; re-ranking pools 10/20/50).

Condition	Hit@1	Hit@3	Hit@5	Hit@10	MRR	nDCG@10
No re-ranking	0.548	0.676	0.741	0.843	0.630	0.253
Re-ranking (pool 10)	0.590	0.738	0.794	0.844	0.677	0.272
Re-ranking (pool 20)	0.578	0.746	0.807	0.867	0.675	0.280
Re-ranking (pool 50)	0.549	0.734	0.806	0.873	0.657	0.275

Closed-set accuracy at temperature zero is given in Table 3. The main pattern is as follows: the absolute contribution of RAG shrinks as the model's own parametric knowledge grows; this partly reflects that the attainable margin is smaller from the outset for a model with a high baseline. The two smaller models remain low without RAG (Qwen3.5-4B 0.327; Llama-4-Scout 0.416); with RAG both leap (0.772 and 0.842), reaching 0.812 and 0.881 with re-ranking (McNemar p<0.001 versus no RAG). The tiered set's contribution is that it lifts the measurement ceiling (on the initial 39-question set, Gemma-4-31B already scored 0.974 without RAG): the strongest model, Gemma-4-31B, stays at 0.743 without RAG but rises to 0.871 with RAG and to 0.901 with re-ranking (Holm p=0.077 for plain RAG; Holm p=0.008 with re-ranking). The practical implication is important: RAG and re-ranking together bring the locally running 4-billion-parameter model to the no-RAG level of the 31-billion-parameter model (0.812 versus 0.743; on the same questions the difference is not significant, McNemar p=0.281); high accuracy can be pursued on accessible hardware while preserving privacy.

Table 3: Deterministic accuracy on closed questions (temperature 0; 101 questions).

Model	No RAG	RAG	RAG + re-ranking
Qwen3.5-4B (local)	0.327	0.772	0.812
Llama-4-Scout-17B-16E	0.416	0.842	0.881
Gemma-4-31B	0.743	0.871	0.901

The breakdown by difficulty tier (Figure 2) shows the pattern in more detail. In tier A (core knowledge), Gemma is at 0.91 even without RAG; this is consistent with common legal knowledge being part of the large model's parametric knowledge. In tier B (obscure and recent legislation), no-RAG accuracy ranges from 0.41 to 0.72 (for Gemma it drops markedly from 0.91 in tier A), while RAG with re-ranking lifts Gemma and Llama-Scout to 1.00; current provisions such as the 2024 amendment to TMK Article 166/4 can be learned only from the context. Tier C (answerable only from the corpus) is the hardest under every condition (0.44–0.67 even with RAG); across all tiers, most RAG errors of the smaller models are reading errors made while the gold basis was in the context, whereas for Gemma most wrong answers are abstentions stating that the answer is not in the context.

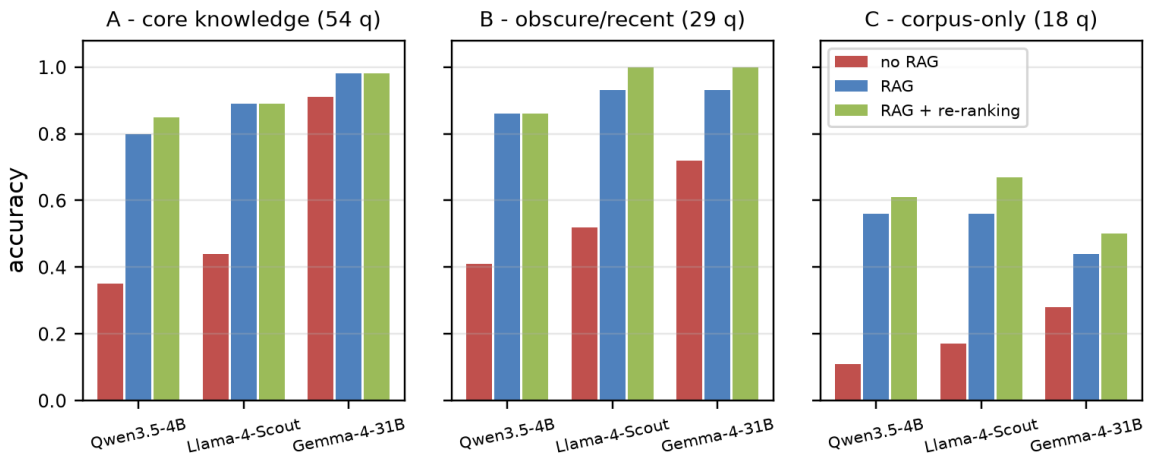


Figure 2: Breakdown of closed-set accuracy by difficulty tier (101 questions; A: core knowledge, B: obscure/recent legislation, C: corpus-only).

Under sampling (temperature 0.7; five repetitions), RAG improves both accuracy and stability (Table 4). The most striking indicator is the full-accuracy rate: the proportion of questions answered correctly in all five repetitions rises from the no-RAG to the re-ranked condition, from 0.139 to 0.723 for Qwen, from 0.257 to 0.851 for Llama-Scout, and from 0.614 to 0.891 for Gemma; the flip rate—the proportion of questions whose answer changes across repetitions—falls from 0.208 to 0.010 for Gemma. One possible explanation is as follows: generation without RAG relies on parametric recall exposed to sampling noise; once a shared context is added, the correct information is the same for every repetition. Accuracy and consistency are separate dimensions, and in legal counseling, giving the same correct answer to the same question every time is a reliability criterion in its own right.

Table 4: Sampling consistency on closed questions (temperature 0.7; 5 repetitions; 101 questions; full accuracy = correct in all five repetitions).

Model	Condition	Avg. accuracy	Full accuracy	Flip rate
Qwen3.5-4B (local)	No RAG	0.277	0.139	0.327
Qwen3.5-4B (local)	RAG	0.784	0.673	0.208
Qwen3.5-4B (local)	RAG + re-ranking	0.814	0.723	0.188
Llama-4-Scout-17B-16E	No RAG	0.424	0.257	0.356
Llama-4-Scout-17B-16E	RAG	0.850	0.772	0.139
Llama-4-Scout-17B-16E	RAG + re-ranking	0.903	0.851	0.099
Gemma-4-31B	No RAG	0.721	0.614	0.208
Gemma-4-31B	RAG	0.869	0.861	0.030
Gemma-4-31B	RAG + re-ranking	0.899	0.891	0.010

Citation reliability shows an even sharper separation than answer accuracy. On questions asking for an article number, the rate of citing the correct article is 90–100% under RAG conditions but drops without RAG to 4.3% for Qwen and 40.0% for Llama-Scout; even Gemma, whose parametric knowledge is strong, stays at 87.1%. More striking still are the citations to nonexistent articles: without RAG, under sampling, Qwen produced article numbers not found in the corpus statutes in 25.6% of its citations (most of these come from a single answer that repeats the same phrases up to the generation limit; 5.7% of the answers contain a nonexistent

article); RAG brings this rate to at most 0.4% for all models. Under RAG conditions, 85–95% of citations correspond directly to chunks in the retrieved context. Without RAG, at least 21% of the judgment references mentioned by Llama-Scout are numbers that cannot be verified against the corpus.

On open-ended questions the pattern is subtler. For the two smaller models, RAG increases factor coverage (markedly for Qwen, from 0.44 to 0.72; less so for Llama-Scout, from 0.51 to 0.65); by contrast, for Gemma, whose open-ended reasoning is already strong, plain RAG yields lower coverage (from 0.78 to 0.68; a difference within the confidence intervals): one possible reason is that a model staying faithful to the context bounds its answer by the scope of that context. Under re-ranking this drop does not appear (0.81; no-RAG 0.78); one possible explanation is that more precise context does not narrow the model's own knowledge. On the other hand, RAG-based answers are shorter and carry caveat wording less often in discretionary questions (the share of answers carrying caveat wording falls from 95% to 71% under plain RAG). Rule-based overconfidence flags also increase (from 2/55 to 6/55 for Gemma under sampling; the denominator is five repetitions of the 11 discretionary questions); however, 5 of Gemma's 6 flags are abstentions stating that the context lacks the information; the increase should therefore not be read as evidence of overconfidence. Relaying amounts from retrieved dated judgments without their dates remains a possible risk, since the error would then be not an “I don't know” but a source-grounded-looking false precision. This risk motivates a deterministic design extension that updates monetary values with the consumer price index (TÜFE) computed by the Turkish Statistical Institute (TÜİK) and published by the Central Bank of the Republic of Türkiye (Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası [TCMB], 2026), deliberately leaving the arithmetic outside the language model.

That the knowledge genuinely comes from the external knowledge base was tested directly: all chunks belonging to the TMK were excluded at query time via a metadata filter, without re-indexing (the “statute not yet indexed” scenario), and the closed set was re-run with greedy decoding. Accuracy on tiers A and B, which depend largely on the TMK, collapses (e.g., Gemma in tier A from 0.98 to 0.69); tier C, which does not depend on the TMK, remains practically unchanged (±0.06) and serves as the experiment's internal control. The experiment tests only the removal of knowledge, not the addition of new knowledge. The experiment's second finding is the cost of an incomplete knowledge base: in the TMK-excluded RAG condition, Gemma falls clearly below its own no-RAG level. The main form of this drop is abstention rather than a wrong basis: in at least 13 of the 20 tier A and B questions that were answered correctly without RAG but lost when the TMK was excluded, the model, following the “if the context lacks the answer, say so” instruction, stated that the context did not contain the information and did not fall back on its parametric knowledge. Since strict accuracy counts these abstentions as wrong, an incomplete knowledge base combined with a grounding instruction can push accuracy below the no-RAG level.

CONCLUSION

In this study, a legal assistant augmented with RAG and operating in the alimony domain of Turkish family law was developed, and answer adequacy was evaluated from deterministic and stochastic perspectives. RAG increased closed-ended accuracy in all three models; the increase was large and highly significant in the two smaller models and smaller in the largest, and the absolute gain shrank as the model's parametric knowledge grew. Under sampling, the full-accuracy rate rose clearly in all three models; citation reliability (citing the correct article and the absence of fabricated citations) improved even more sharply than answer accuracy. In the experiment where the knowledge base was modified at query time, accuracy tracked the knowledge base rather than memorization. Re-ranking provided significant gains at every depth

at the retrieval level; on open-ended questions, the coverage drop observed under plain RAG, which stays within the confidence intervals, did not appear under re-ranking.

The results carry three practical implications. First, with RAG a small local model can reach the no-RAG level of a much larger model, which shows viability on accessible hardware with benefits for privacy and cost. Second, consistency and citation reliability are reliability axes separate from average accuracy and at least as important; the evaluation set should therefore be stratified by how widely the required knowledge is known, and abstention, citation accuracy, and cross-repetition consistency should be reported alongside accuracy. Third, RAG-specific risks (the false precision of dated amounts, increased abstention under an incomplete knowledge base) call for targeted design measures; in this study a deterministic temporal correction that shows the approximate current equivalent of a dated amount was proposed as one such measure, while the final amount remains at the judge's discretion.

The limitations are equally clear: the comparison covers three models; the gold answers of the evaluation sets were checked against the corpus text with AI assistance; the RAG and no-RAG prompts also differ in their instruction to rely on the context; the evaluation sets are of moderate size, and since scoring is largely rule-based (the overconfidence measure is a lexical indicator), the metrics should be read as indicative rather than definitive; the decisions of this scoring have not been compared with human judgment; the corpus is alimony-focused and drawn from a single chamber, so the results do not generalize directly to all of law. The developed system is a decision-support tool and does not constitute legal advice; its outputs must not be used without review by a legal expert.

REFERENCES

Chen, J., Lin, H., Han, X., & Sun, L. (2024). Benchmarking large language models in retrieval-augmented generation. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, 38*(16), 17754–17762. https://doi.org/10.1609/aaai.v38i16.29728

Chen, J., Xiao, S., Zhang, P., Luo, K., Lian, D., & Liu, Z. (2024). M3-Embedding: Multi-linguality, multi-functionality, multi-granularity text embeddings through self-knowledge distillation. In L.-W. Ku, A. Martins, & V. Srikumar (Eds.), *Findings of the Association for Computational Linguistics: ACL 2024* (pp. 2318–2335). Association for Computational Linguistics. https://doi.org/10.18653/v1/2024.findings-acl.137

Cormack, G. V., Clarke, C. L. A., & Büttcher, S. (2009). Reciprocal rank fusion outperforms Condorcet and individual rank learning methods. In *Proceedings of the 32nd International ACM SIGIR Conference on Research and Development in Information Retrieval* (pp. 758–759). Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/1571941.1572114

Çetindağ, C., Yazıcıoğlu, B., & Koç, A. (2023). Named-entity recognition in Turkish legal texts. *Natural Language Engineering, 29*(3), 615–642. https://doi.org/10.1017/S1351324922000304

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

Efron, B. (1979). Bootstrap methods: Another look at the jackknife. *The Annals of Statistics, 7*(1), 1–26. https://doi.org/10.1214/aos/1176344552

Erkan, M. A. (2025). *Turkish legal NLP: A comprehensive AI framework for legal document understanding, summarization, and retrieval-augmented generation* [Master's thesis, Middle East Technical University]. OpenMETU. https://open.metu.edu.tr/handle/11511/115579

Es, S., James, J., Espinosa-Anke, L., & Schockaert, S. (2024). RAGAs: Automated evaluation of retrieval augmented generation. In N. Aletras & O. De Clercq (Eds.), *Proceedings of the 18th Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics: System Demonstrations* (pp. 150–158). Association for Computational Linguistics. https://doi.org/10.18653/v1/2024.eacl-demo.16

Gao, Y., Xiong, Y., Gao, X., Jia, K., Pan, J., Bi, Y., Dai, Y., Sun, J., & Wang, H. (2023). *Retrieval-augmented generation for large language models: A survey* (arXiv:2312.10997). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2312.10997

Gemma Team. (2026). *Gemma 4 technical report* (arXiv:2607.02770). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2607.02770

Holm, S. (1979). A simple sequentially rejective multiple test procedure. *Scandinavian Journal of Statistics, 6*(2), 65–70. https://www.jstor.org/stable/4615733

Järvelin, K., & Kekäläinen, J. (2002). Cumulated gain-based evaluation of IR techniques. *ACM Transactions on Information Systems, 20*(4), 422–446. https://doi.org/10.1145/582415.582418

Ji, Z., Lee, N., Frieske, R., Yu, T., Su, D., Xu, Y., Ishii, E., Bang, Y., Madotto, A., & Fung, P. (2023). Survey of hallucination in natural language generation. *ACM Computing Surveys, 55*(12), 1–38. https://doi.org/10.1145/3571730

Karpukhin, V., Oğuz, B., Min, S., Lewis, P., Wu, L., Edunov, S., Chen, D., & Yih, W. (2020). Dense passage retrieval for open-domain question answering. In B. Webber, T. Cohn, Y. He, & Y. Liu (Eds.), *Proceedings of the 2020 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP)* (pp. 6769–6781). Association for Computational Linguistics. https://doi.org/10.18653/v1/2020.emnlp-main.550

Lewis, P., Perez, E., Piktus, A., Petroni, F., Karpukhin, V., Goyal, N., Küttler, H., Lewis, M., Yih, W., Rocktäschel, T., Riedel, S., & Kiela, D. (2020). Retrieval-augmented generation for knowledge-intensive NLP tasks. In H. Larochelle, M. Ranzato, R. Hadsell, M. F. Balcan, & H. Lin (Eds.), *Advances in Neural Information Processing Systems* (Vol. 33, pp. 9459–9474). Curran Associates. https://proceedings.neurips.cc/paper_files/paper/2020/hash/6b493230205f780e1bc26945df7481e5-Abstract.html

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

McNemar, Q. (1947). Note on the sampling error of the difference between correlated proportions or percentages. *Psychometrika, 12*(2), 153–157. https://doi.org/10.1007/BF02295996

Meta AI. (2025, April 5). *The Llama 4 herd: The beginning of a new era of natively multimodal AI innovation*. https://ai.meta.com/blog/llama-4-multimodal-intelligence/

Nogueira, R., & Cho, K. (2019). *Passage re-ranking with BERT* (arXiv:1901.04085). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.1901.04085

Öztürk, M. U., Türkoğlu, T., & Buz-Yalug, B. (2026). HukukBERT: Domain-specific language model for Turkish law. *Journal of Computational Law and Legal Technology*. Advance online publication. https://doi.org/10.47852/bonviewJCLLT620210346

Qwen Team. (2026, February 16). *Qwen3.5: Towards native multimodal agents*. https://qwen.ai/blog?id=qwen3.5

Shuster, K., Poff, S., Chen, M., Kiela, D., & Weston, J. (2021). Retrieval augmentation reduces hallucination in conversation. In M.-F. Moens, X. Huang, L. Specia, & S. W. Yih (Eds.), *Findings of the Association for Computational Linguistics: EMNLP 2021* (pp. 3784–3803). Association for Computational Linguistics. https://doi.org/10.18653/v1/2021.findings-emnlp.320

Türkiye Cumhuriyet Merkez Bankası. (2026). *Tüketici fiyatları* [Consumer prices] [Data set]. https://www.tcmb.gov.tr/wps/wcm/connect/TR/TCMB+TR/Main+Menu/Istatistikler/Enflasyon+Verileri/Tuketici+Fiyatlari

Wang, X., Wei, J., Schuurmans, D., Le, Q., Chi, E., Narang, S., Chowdhery, A., & Zhou, D. (2023). Self-consistency improves chain of thought reasoning in language models. In *International Conference on Learning Representations (ICLR 2023)*. https://openreview.net/forum?id=1PL1NIMMrw

TERÖRİZMİN FİNANSMANIYLA MÜCADELEDE FATF'IN ROLÜ VE HUKUKİ NİTELİĞİ

Av. Begüm KOCAMAZ MERT, PhD Candidate
Marmara University, Institute of Social Sciences, PhD Program in Public Law, Istanbul
ORCID ID: 0000-0001-6781-4787

ÖZET
Terörizm, uluslararası toplumu uzun yıllardır tehdit eden başlıca güvenlik sorunlarından biridir. Uluslararası hukuk çerçevesinde terörizmle mücadeleye yönelik çeşitli hukuki düzenlemeler yapılmış olmakla birlikte, 11 Eylül 2001 tarihinde New York'taki İkiz Kulelere yönelik gerçekleştirilen terör saldırılarının ardından, terör faaliyetlerinin gerçekleştirilmesini mümkün kılan mali kaynakların da hedef alınması gerektiği yönündeki yaklaşım güç kazanmıştır. Bu gelişmeyle birlikte, terör örgütlerinin mali kaynaklarının tespiti, izlenmesi ve engellenmesine yönelik uluslararası düzenlemeler hız kazanmış; bağlayıcı sözleşmelerin yanı sıra devletlerin ulusal hukuklarını ve uygulamalarını yönlendiren uluslararası standartların etkisi de giderek artmıştır. Bu alanda Mali Eylem Görev Gücü (Financial Action Task Force – FATF), terörizmin finansmanıyla mücadele politikalarının oluşturulması ve uygulanmasında merkezi bir konuma sahip olmuştur. 1989 yılında kurulan FATF, klasik anlamda bir uluslararası örgüt niteliği taşımamakla birlikte, geliştirdiği standartlar ve oluşturduğu değerlendirme ve izleme mekanizmaları aracılığıyla devletlerin ulusal mevzuatlarını, kurumsal yapılarını ve uygulamalarını önemli ölçüde etkilemektedir. FATF'ın terörizmin finansmanıyla mücadele alanındaki faaliyetleri yalnızca terörizmin finansmanının suç olarak düzenlenmesine ilişkin standartlarla sınırlı olmayıp; malvarlıklarının dondurulması, finansal kuruluşların yükümlülükleri, şüpheli işlem bildirimleri, uluslararası iş birliği ve risk temelli yaklaşım gibi farklı alanları da kapsamaktadır. Bu çalışmada FATF'ın kuruluşu, kurumsal yapısı, hukuki niteliği ve terörizmin finansmanıyla mücadele alanındaki işlevleri uluslararası hukuk bakımından incelenecek, FATF standartlarının hukuki bağlayıcılığı ile karşılıklı değerlendirme, artırılmış izleme ve yüksek riskli ülkelerin belirlenmesine yönelik mekanizmalarının devletler üzerindeki etkisi mercek altına alınacaktır.
Anahtar kelimeler: Terörizmin finansmanı, FATF, terörizmle mücadele, uluslararası standartlar, karşılıklı değerlendirme

THE ROLE AND LEGAL NATURE OF THE FATF IN COMBATING THE FINANCING OF TERRORISM

ABSTRACT
Terrorism has long been one of the major security challenges facing the international community. Although various legal measures have been adopted within the framework of international law to combat terrorism, the terrorist attacks on the World Trade Center in New York on 11 September 2001 reinforced the view that efforts to combat terrorism should also target the financial resources that make terrorist activities possible. In the aftermath of these attacks, international rules and mechanisms aimed at identifying, monitoring, and disrupting the financial resources of terrorist organizations became more systematic and comprehensive. Alongside binding international treaties, international standards guiding domestic legislation and state practice have also assumed increasing importance. In this context, the Financial Action Task Force (FATF) has come to play a central role in shaping and implementing policies

aimed at combating the financing of terrorism. Established in 1989, the FATF does not constitute an international organization in the traditional sense. Nevertheless, through the standards it develops and its assessment and monitoring mechanisms, it exerts significant influence on states' domestic legislation, institutional structures, and practices. The FATF's activities in this field are not limited to standards concerning the criminalization of terrorist financing, but also extend to asset freezing, obligations imposed on financial institutions, suspicious transaction reporting, international cooperation, and the risk-based approach. This study examines the establishment, institutional structure, legal nature, and functions of the FATF in combating terrorist financing from the perspective of international law. It further considers the legal status of FATF standards and the effects of mechanisms such as mutual evaluations, enhanced monitoring, and the identification of high-risk jurisdictions on states.
Keywords: Terrorist financing, FATF, counter-terrorism, international standards, mutual evaluation

GİRİŞ

Terörizmin finansmanıyla mücadele, yalnızca ceza hukukunda bir suç tipinin düzenlenmesiyle sınırlı olmayan, mali sistemin gözetimini, malvarlığına yönelik önlemleri ve devletler arasında kurumsal iş birliğini gerektiren çok katmanlı bir alandır. Sınır aşan fon hareketlerinin izlenmesi ve finansal kuruluşların önleyici yükümlülüklerinin belirlenmesi, bu alanda ortak standartların oluşturulmasını gerekli kılmıştır. Birleşmiş Milletler bünyesinde kabul edilen sözleşmeler ve Güvenlik Konseyi kararları hukuki çerçevenin önemli bir kısmını oluştururken Mali Eylem Görev Gücü (Financial Action Task Force – FATF), standartların teknik içeriğinin belirlenmesi ve uygulanmasının izlenmesi bakımından ayrı bir konuma sahiptir (FATF, 2019a, prg. 3).

FATF, uluslararası bir sözleşmeyle kurulmuş klasik anlamda uluslararası örgüt değildir. Bu oluşumun tavsiyeleri de kural olarak devletlere doğrudan uluslararası hukuk yükümlülüğü yükleyen normlar niteliğinde bulunmamaktadır. Bununla birlikte tavsiyelerin ulusal mevzuatın hazırlanmasında, mali denetim politikalarının oluşturulmasında ve terörizmin finansmanının suçlaştırılmasında dikkate alınması, hukuki bağlayıcılık ile uygulamadaki etki arasındaki ilişkinin sorgulanmasını gerektirmektedir. Öğretide FATF standartlarının soft law niteliği vurgulanırken bu standartların fiilî etkisinin bazı alanlarda bağlayıcı düzenlemeler kadar güçlü olabildiğine işaret edilmektedir (Krämer, 2015, s. 215–216; Simonovski & Ünsal, 2018, s. 111). Çalışmanın temel sorusu, FATF tavsiyelerinin bağlayıcı olmamalarına rağmen hangi mekanizmalar aracılığıyla devletlerin hukuk politikalarını ve özellikle terörizmin finansmanına ilişkin ceza normlarını etkilediğidir. Bu çerçevede önce kuruluşun yapısı ve standartlarının içeriği ele alınacak; FATF tavsiyelerinin hukuki niteliği, karşılıklı değerlendirme ve listeleme süreçleri ile ulusal düzeydeki sonuçları incelenecektir. Türkiye'de 6415 sayılı Terörizmin Finansmanın Önlenmesi Hakkında Kanunun kabulüne giden süreç ve Almanya'da StGB § 89c'nin ihdası (Alman Ceza Kanunu madde 89c), normatif etkinin somutlaştığı iki karşılaştırmalı örnek olarak değerlendirilecektir.

ARAŞTIRMA

Bu çalışma, nitel araştırma yaklaşımı içinde doküman incelemesine ve hukuk dogmatiği yöntemine dayanmaktadır. FATF'ın 2019 tarihli Yetki Belgesi, 40 Tavsiye metni, değerlendirme usulleri ve ülke raporları; Birleşmiş Milletler belgeleri, Alman Federal Meclisi yasama materyalleri ve konuya ilişkin akademik eserlerle birlikte incelenmiştir. Kaynakların değerlendirilmesinde belgelerin normatif niteliği ile uygulamada doğurdukları sonuçlar birbirinden ayrılmıştır. Türkiye ve Almanya örnekleri, iki hukuk düzenindeki tüm tedbirlerin karşılaştırılması amacıyla değil, FATF değerlendirmelerinin terörizmin finansmanının

suçlaştırılması üzerindeki etkisini görünür kılmak üzere seçilmiştir.
Araştırmada üç inceleme düzeyi izlenmiştir. İlk düzeyde FATF'ın görev alanının gelişimi ve tavsiye sistematiği ortaya konulmuştur. İkinci düzeyde bağlayıcı olmayan standartların Birleşmiş Milletler, Avrupa Birliği ve mali gözetim mekanizmaları yoluyla nasıl etkili olduğu değerlendirilmiştir. Üçüncü düzeyde ise ülke incelemeleri, kamusal listeleme ve siyasi-itibari baskı mekanizmaları ile Türk ve Alman mevzuatındaki belirli değişiklikler arasında kurulabilen ilişkiler tartışılmıştır. İnceleme, değerlendirme raporları ile yasama gerekçelerinin ortaya koyabildiği ilişkilerin ötesinde kesin nedensellik iddiasında bulunmamaktadır.

BULGULAR

1. FATF'ın Kuruluşu ve Kurumsal Konumu

FATF'ın ortaya çıkışı, 1989 yılında Paris'te yapılan G-7 Zirvesi'nde kara para aklamayla mücadele için ortak hareket edilmesi kararına dayanmaktadır. Başlangıçta bankacılık sisteminin suç gelirlerinin aklanmasında kullanılmasını engelleyecek önlemlere odaklanan görev gücü, 1990'da ilk 40 Tavsiyeyi yayımlamıştır. Bu ilk standartlar, kara para aklamanın suç sayılması, suç gelirlerine el konulması, finansal kuruluşlarda müşteri kimliğinin belirlenmesi, kayıtların saklanması ve devletler arası iş birliği gibi alanları kapsamaktaydı (G7, 1989, prg. 53; FATF, 1990).
11 Eylül 2001 saldırıları FATF'ın görev alanında belirleyici bir genişlemeye yol açmıştır. Ekim 2001'de terörizmin finansmanına ilişkin sekiz özel tavsiye kabul edilmiş; 2004'te dokuzuncu özel tavsiyenin eklenmesiyle sistem uzun süre "40+9 Tavsiye" biçiminde anılmıştır. 2012 revizyonunda ayrı özel tavsiyeler bütünleşik 40 Tavsiye yapısına alınmış, kara para aklama ve terörizmin finansmanıyla mücadele ile kitle imha silahlarının yayılmasının finansmanına ilişkin standartlar ortak bir çerçevede düzenlenmiştir (FATF, 2002, s. 1; FATF, 2012a, s. 14).
Hükümetler arası (intergovernmental body) bir oluşumolan FAFT'ın Kurucu üyeleri arasında Almanya ve Belçika'nın da aralarında bulunduğu on beş devlet ile Avrupa Komisyonu yer almakta, FATF'ın Sekretaryası ise Ekonomik İşbirliği ve Kalkınma Örgütü (Organisation for Economic Co-operation and Development – OECD) tarafından sağlanmaktadır. FATF'ın sekreteryasının OECD tarafından sağlanıyor olması, FATF'I OECD'nin bir alt kuruluşu haline getirmez. Öğretide hatalı olarak bu varsayımda bulunulmaktadır.
Genel Kurul (Plenary) temel karar organıdır ve standartların kabulü veya değiştirilmesi gibi konularda kararlar konsensüs usulüyle alınmaktadır. Başkan, Başkan Yardımcısı, Yönlendirme Grubu ve Sekretarya, görev gücünün diğer kurumsal bileşenleridir (FATF, 2019a, prg. 19, 46; Krämer, 2015, s. 216).
FATF'ın etkisi doğrudan üyelik ilişkileriyle sınırlı değildir; nitekim küresel bir etki ve etkileşimi bulunmaktadır. FATF benzeri bölgesel kuruluşlar, farklı coğrafyalarda standartlara uyumu değerlendirmekte ve izleme faaliyetlerini desteklemektedir. Bununla birlikte standart oluşturma sürecindeki temsil ve hesap verebilirlik sorunları öğretide eleştirilmektedir. Özellikle sınırlı sayıda devlet tarafından şekillendirilen kuralların daha geniş bir ülke topluluğu üzerinde etkili olması, uluslararası yönetişim bakımından demokratik meşruiyet tartışmasını gündeme getirmektedir (Bantekas, 2020, s. 101; Simonovski & Ünsal, 2018, s. 114).

2. Terörizmin Finansmanıyla Mücadelede FATF Standartları

40 Tavsiye, birbirini tamamlayan önleyici, kurumsal ve cezai tedbirlerden oluşmaktadır. Risk temelli yaklaşım ve kurumlar arası koordinasyon ilk iki tavsiyede; kara para aklama suçuna ve müsadereye ilişkin esaslar üçüncü ve dördüncü tavsiyelerde; terörizmin finansmanı ile kitle imha silahlarının yayılmasının finansmanına özgü önlemler ise beşinci ile sekizinci tavsiyelerde düzenlenmiştir. Diğer tavsiyeler, finansal kuruluşların önleyici yükümlülüklerinden gerçek faydalanıcılık şeffaflığına, denetim yetkilerinden uluslararası iş birliğine kadar uzanmaktadır

(FATF, 2026a, s. 7–26).
Terörizmin finansmanı bakımından merkezi önem taşıyan 5 No.lu Tavsiye, devletlerden bu fiili 1999 tarihli Terörizmin Finansmanının Önlenmesine Dair Uluslararası Sözleşme ile uyumlu biçimde suç olarak düzenlemelerini beklemektedir. Tavsiyenin ayırt edici yönü, cezalandırılabilir finansman fiilinin mutlaka gerçekleşmiş ya da belirlenmiş bir terör eylemiyle ilişkilendirilmesini aramamasıdır. Bireysel teröristlere ve terör örgütlerine sağlanan fonların da suç kapsamına alınması öngörülür. Ayrıca terörizmin finansmanı suçunun kara para aklama bakımından öncül suç sayılması istenir (FATF, 2026a, s. 13).
6 No.lu Tavsiye, Birleşmiş Milletler Güvenlik Konseyinin ilgili kararlarıyla bağlantılı hedefli mali yaptırımları düzenler. Bu alandaki temel tedbirler, belirlenen kişi veya kuruluşların fon ve diğer malvarlığı değerlerinin gecikmeksizin dondurulması ve bu kaynakların söz konusu kişilerin tasarrufuna sunulmasının engellenmesidir. 7 No.lu Tavsiye kitle imha silahlarının yayılmasının finansmanına yönelik yaptırımları konu edinirken 8 No.lu Tavsiye, kâr amacı gütmeyen kuruluşların terörizmin finansmanı için kötüye kullanılma riskine odaklanır. Sonuncusu bakımından riskle orantılı önlem alma gereği, meşru sivil toplum faaliyetlerinin gereksiz biçimde sınırlandırılmaması bakımından önemlidir (FATF, 2026a, s. 13–14).
Risk temelli yaklaşım, FATF sisteminde tüm ülkelere ve sektörlere aynı yoğunlukta yükümlülük uygulanmasını değil, belirlenen risklere uygun tedbir seçilmesini amaçlar. Finansal kuruluşların müşteri tanıma, gerçek faydalanıcıyı belirleme, kayıt tutma ve şüpheli işlemleri bildirme yükümlülükleri; bazı koşullarda avukat, noter, muhasebeci ve benzeri finansal olmayan meslek grupları bakımından da gündeme gelebilir. Bu yönüyle tavsiyeler, yalnızca ceza normlarının içeriğini değil, suç öncesi mali izleme ve idari denetim yapısını da etkiler (FATF, 2026a, s. 10–25).
Dolayısıyla FATF standartlarının terörizmin finansmanıyla mücadeleye katkısı iki ayrı düzeyde görünür: finansmanın suçlaştırılmasına ilişkin asgari ortak ölçütlerin tanımlanması ve finansal kaynakların ortaya çıkarılmasını kolaylaştıracak önleyici altyapının kurulması. Bununla birlikte bir tavsiyenin kabul edilmesi ile o tavsiyenin iç hukukta somut ve uygulanabilir bir yükümlülüğe dönüşmesi birbirinden ayrılmalıdır. Hukuki bağlayıcılığın kaynağı, ilgili devletin iç hukuk düzenlemesi veya ayrıca uygulanabilir bir uluslararası yükümlülüğü olabilir.
3. Tavsiyelerin Hukuki Niteliği: Soft Law ve Fiilî Normatif Etki
FATF tavsiyeleri, şekli anlamda uluslararası antlaşma hükümleri olarak kabul edilmemiştir. FATF'ın yetki belgesi de tek başına devletler lehine veya aleyhine antlaşma hukukundan kaynaklanan hak ve borçlar meydana getiren bir kurucu sözleşme niteliği taşımaz. Bu nedenle tavsiyelerin genel olarak soft law (yumuşak hukuk) kapsamında değerlendirilmesi isabetlidir. Devletin tavsiyeye aykırı davranması, sırf bu aykırılık nedeniyle uluslararası hukuktan doğan bir yükümlülüğün ihlal edildiği anlamına gelmez (Simonovski & Ünsal, 2018, s. 111; Krämer, 2015, s. 215).
Bununla birlikte normatif etkiyi yalnızca biçimsel bağlayıcılıkla açıklamak, FATF sisteminin işleyişini anlamak için yeterli değildir. FATF standartları, devletlerin yasama ve idari düzenleme faaliyetlerine yol gösterirken bankalar ve diğer yükümlüler için hazırlanan ulusal uyum sistemlerinin de referansını oluşturmaktadır. Uluslararası finansal ilişkiler bakımından ortak bir ölçüt işlevi görmesi, tavsiyelerin hukuk düzenleri üzerindeki dolaylı etkisini güçlendirmektedir. Öğretide bu durum, hükümetler ve idari otoriteler arasındaki ağların ulusal hukuku şekillendirme kapasitesiyle açıklanmaktadır (Poh, 2009, s. 11–24; Weißer, 2020, s. 52). Birleşmiş Milletler Güvenlik Konseyiyle kurulan ilişki bu etkiyi daha görünür hâle getirmektedir. Güvenlik Konseyinin 1617 (2005) sayılı kararının 7. paragrafında devletlerin FATF'ın kapsamlı uluslararası standartlarını uygulamaya teşvik edilmesi, teknik tavsiyelerin

uluslararası güvenlik gündemine taşındığını göstermektedir. Ancak Konseyin tavsiyelere atıf yapması ile tavsiyelerin tüm içeriğinin kendiliğinden bağlayıcı BM yükümlülüğüne dönüşmesi aynı anlama gelmemektedir. İlgili kararın dili ve hukuki dayanağı ayrıca incelenmelidir (United Nations Security Council, 2005, prg. 7; 2014, prg. 10).

FATF ile Birleşmiş Milletler arasındaki temas yalnızca siyasal düzeyde kalmamıştır. Terörle Mücadele Komitesi İcra Direktörlüğünün çalışmaları sırasında FATF uzmanlığından yararlanılmış ve 1373 (2001) sayılı Güvenlik Konseyi kararının uygulanmasına ilişkin teknik değerlendirmelerde FATF metodolojisi dikkate alınmıştır. Örneğin 2005 yılında Fas'a yapılan ülke ziyaretine bir FATF uzmanının katılması, standart geliştirme ve izleme mekanizmalarının nasıl iç içe geçebildiğini göstermektedir (FATF, 2005, s. 10–12; Counter-Terrorism Committee Executive Directorate [CTED], 2009, s. 5).

Avrupa Birliği hukuku da tavsiyelerin etkili hâle geldiği ayrı bir kanaldır. Kara para aklamayla mücadele direktifleri ile terörizmin finansmanına ilişkin Avrupa düzenlemeleri, FATF standartlarından beslenmiş; bu standartların içeriği AB mevzuatının bağlayıcı hükümleri aracılığıyla üye devletlerin hukuklarına yansıyabilmiştir. Burada FATF tavsiyesinin doğrudan bağlayıcı hâle geldiğinden değil, onunla uyumlu normun yetkili AB organlarınca kabul edilmesinden söz edilmelidir (Groth, 2015, s. 41, 45; Holley, 2009, s. 73–74).

Bu çerçevede FATF'ın "küresel norm koyucu" işlevinden söz edilmesi, biçimsel bir yasama yetkisinin varlığı şeklinde anlaşılmamalıdır. Daha doğru ifade, kuruluşun ortak ölçütler üretmesi ve bunların benimsenmesini değerlendirme, kamuoyuna açıklama ve uluslararası kurumsal iş birliği yoluyla teşvik etmesidir. Soft law niteliği ile yüksek düzeyde uygulama etkisi arasındaki görünür gerilim, farklı düzlemlere ait iki olgunun aynı anda ortaya çıkmasından kaynaklanır.

4. Karşılıklı Değerlendirme, İzleme ve Listeleme Mekanizmaları

FATF'ın uluslararası etkisini yalnızca tavsiyelerin içeriği değil, bunların uygulanmasını inceleyen denetim yapısı da belirlemektedir. Karşılıklı değerlendirme (mutual evaluation) sürecinde ülkelerin hem teknik uyum düzeyi hem de kara para aklama ve terörizmin finansmanıyla mücadele sistemlerinin uygulamadaki etkinliği incelenmektedir. FATF'ın Yetki Belgesi, üyelerin değerlendirme ve takip süreçlerine katılımını kuruluşun işleyişinin temel unsurlarından biri olarak kabul etmektedir (FATF, 2019a, prg. 3(c), 6(b)).

Değerlendirme sürecinde ilgili devletten mevzuatına, kurumlarına, risklerine ve yürüttüğü çalışmalara ilişkin bilgi ve belgeler alınır. Değerlendirici ekip, dosya incelemesini yerinde ziyaretle tamamlayarak teknik uyum ve etkinlik konusundaki tespitlerini raporlaştırır. Taslak raporun ilgili devletin görüşleri doğrultusunda gözden geçirilmesinin ardından nihai rapor yayımlanır. Bulguların kamuoyuna açıklanması, özellikle eksiklikleri bulunan devletler için itibar ve piyasa güveni bakımından sonuçlar doğurabilir (FATF, 2025, s. 6–8; Albers, 2015, s. 88).

Karşılıklı değerlendirmeyi takip mekanizmaları tamamlar. Ülkenin ilerlemesi belli aralıklarla yeniden gözden geçirilir; ağır veya stratejik eksiklikler söz konusu olduğunda daha yoğun bir inceleme süreci gündeme gelebilir. Uluslararası İşbirliği İnceleme Grubu (International Co-operation Review Group – ICRG) bünyesinde yürütülen incelemeler, devletlere belirli eksiklikleri gidermeye yönelik eylem planları uygulanması sonucunu doğurabilmektedir. Böylece değerlendirme mekanizması, yalnızca mevcut hukuki durumun saptandığı teknik bir raporlama faaliyeti olmaktan çıkarak mevzuat reformlarını teşvik eden bir araca dönüşmektedir (FATF, 2026b; Krüger, 2025, s. 25).

Kamuoyunda "gri liste" olarak bilinen artırılmış izleme kapsamındaki ülkeler, stratejik eksikliklerini gidermek için FATF ile çalışmayı taahhüt eden ülkelerdir. "Kara liste" olarak

anılan ve eylem çağrısına konu edilen yüksek riskli ülkeler bakımından ise daha ağır önlemler gündeme gelebilir. FATF, özellikle bu ikinci gruptaki ülkelerle ilgili işlemlerde güçlendirilmiş müşteri incelemesi yapılmasını ve gerekli hâllerde karşı tedbir uygulanmasını diğer ülkelere tavsiye etmektedir. Listeleme, tek başına her somut işlem bakımından otomatik bir yasak anlamına gelmemekle birlikte finansal ilişkilerde maliyet, inceleme yoğunluğu ve itibar riski yaratabilmektedir (FATF, t.y.; Kida & Paetzold, 2021, s. 3).

Nitekim listeleme ve raporlamanın finansal piyasalar üzerindeki olası etkisi, devletlerin hukuken zorunlu olmadıkları durumlarda dahi uyum yönünde hareket etmelerini açıklayan önemli bir faktördür. Ancak bu baskıyı klasik anlamda uluslararası hukuk yaptırımıyla özdeşleştirmemek gerekir. Buradaki etkiler; değerlendirme raporunun açıklanması, diğer devletlerin ve özel sektör aktörlerinin risk kararları, finansal işlemlerde karşılaşılan güçlükler ve uluslararası itibarın korunması arzusunun birleşiminden kaynaklanmaktadır (Weißer, 2020, s. 69; Kida & Paetzold, 2021, s. 3).

Almanya'nın değerlendirme hazırlıkları, bu mekanizmanın siyasal önemine işaret eden bir örnektir. Federal Mecliste 2019 yılında yöneltilen soru önergesine verilen hükûmet cevabında FATF değerlendirmesinin öncelikli görüldüğü ve hazırlıklar için federal düzeyde on dört tam zamanlı kadronun görevlendirildiği ifade edilmiştir. Bu açıklama, bağlayıcı olmayan bir değerlendirme sisteminin kamu idaresi açısından dikkate değer kaynak kullanımına neden olabildiğini göstermektedir (Deutscher Bundestag, 2019; 2020, s. 4).

5. FATF'ın Ulusal Ceza Hukukuna Etkisi: Türkiye ve Almanya

FATF değerlendirmelerinin ulusal mevzuat üzerindeki etkisi, terörizmin finansmanının suç olarak düzenlenmesi bakımından daha somut incelenebilir. Bununla birlikte iki ülkenin farklı hukuki ve siyasal bağlamları dikkate alınmalıdır. FATF raporları reform ihtiyacını görünür kılabilse de her kanun değişikliğinin tek ve münhasır nedeninin FATF olduğu ileri sürülemez. Uluslararası sözleşmeler, güvenlik politikaları ve ulusal hukuk tartışmaları da aynı süreçte rol oynamaktadır.

5.1. Türkiye

Türkiye hakkında gerçekleştirilen erken dönem FATF değerlendirmelerinde, terörizmin finansmanının yeterli kapsamda suç hâline getirilmesi ile fonların dondurulmasına ilişkin hukuki altyapı bakımından eksiklikler tespit edilmiştir. FATF'ın 2007 tarihli karşılıklı değerlendirme raporu bu eksiklikleri açık biçimde kaydetmiştir (FATF, 2007a, s. 24, prg. 94). 19 Ekim 2012 tarihli kamu açıklamasında ise Türkiye'den terörizmin finansmanının suçlaştırılmasına ve terörist malvarlığının dondurulmasına ilişkin düzenlemeleri belirli süre içinde tamamlaması istenmiş; aksi takdirde üyelik bakımından karşı tedbir gündeme getirilebileceği belirtilmiştir (FATF, 2012c, s. 6).

Bu gelişmelerden kısa süre sonra 6415 sayılı Terörizmin Finansmanının Önlenmesi Hakkında Kanun kabul edilmiş ve 7 Şubat 2013 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Kanunun kabul zamanlaması ve düzenlediği alanlar, FATF değerlendirmeleri ile Türk hukukundaki reform süreci arasında kuvvetli bir ilişki bulunduğunu göstermektedir. Bununla birlikte kanunun uluslararası sözleşmelerden ve Türkiye'nin kendi ceza hukuku tercihinden bağımsız olarak yalnızca FATF tarafından belirlenmiş olduğu sonucuna varmak isabetli değildir.

2019 yılında yapılan karşılıklı değerlendirmede Türkiye'nin hukuki ve kurumsal kapasitesindeki gelişmelere rağmen özellikle uygulama etkinliğine ilişkin sorunların sürdüğü belirtilmiştir. Türkiye, Ekim 2021'de artırılmış izleme kapsamına alınmış; FATF 28 Haziran 2024 tarihinde eylem planına ilişkin ilerlemenin yeterli olduğunu açıklayarak Türkiye'yi gri listeden çıkarmıştır. Bu süreçte riskli sektörlerin denetlenmesi, mali istihbaratın kullanımı ve yükümlülük ihlallerine ilişkin yaptırımların etkinliği öne çıkan başlıklardandır (FATF, 2019b;

2022a, s. 43; 2024).

Türkiye örneği, iki sonucu birlikte ortaya koymaktadır. Birincisi, 5 No.lu Tavsiye gibi suçlaştırmaya ilişkin standartlar, kanun koyucunun suç tipinin kapsamını değerlendirmesinde önemli bir referans oluşturabilmektedir. İkincisi, FATF'ın etkisi kanunun kabul edilmesiyle sona ermemekte, denetim ve soruşturma kapasitesi gibi uygulamaya ilişkin ölçütler üzerinden devam etmektedir. Bu bakımdan biçimsel mevzuat uyumu ile sistemin fiilî etkinliği ayrı değerlendirme konularıdır.

5.2. Almanya

FATF'ın 2010 tarihli Almanya raporunda, Alman ceza hukukunun terörizmin finansmanı bakımından öngördüğü düzenlemelerin bazı yönleriyle uluslararası standartların gerisinde kaldığı değerlendirilmiştir. Raporda, "devlet güvenliğini tehdit eden ağır şiddet fiili" kavramının kapsamı ve § 89a Abs. 2 Nr. 4 StGB'de malvarlığı değerinin "önemsiz olmayan" düzeyde bulunmasının aranması eleştirilmiştir. FATF'ın yaklaşımına göre terörizmin finansmanının cezalandırılabilmesi için belirli bir parasal alt sınır öngörülmemeliydi (FATF, 2010, s. 67, prg. 207–210).

Almanya'nın takip incelemelerinde ilerleme kaydedildiği belirtilmiş ve 2014 yılında düzenli takip sürecinden çıkışına karar verilmiştir. Bununla birlikte bazı mali yaptırım eksikliklerinin devam ettiği vurgulanmıştır. Terörizmin finansmanının suçlaştırılması alanında 2015 yılında § 89c StGB'nin bağımsız bir suç tipi olarak kabul edilmesi belirleyici olmuştur. Önceki § 89a düzenlemesindeki malvarlığının belirli düzeyde önemli olmasını arayan ibare yeni hükümde yer almamış; kanun tasarısının gerekçesinde de bu tercihe açıkça değinilmiştir (FATF, 2014, s. 4–5; Deutscher Bundestag, 2015, s. 12).

Bu örnekte FATF raporuyla ortaya konulan eleştiri, daha sonraki yasama değişikliğiyle içerik bakımından örtüşmektedir. Bununla beraber Alman düzenlemesinin oluşumunu tek nedene indirgememek gerekir; uluslararası terörizmle mücadele yükümlülükleri ve ulusal ceza hukuku politikası aynı çerçevenin parçalarıdır. FATF standartları, suçun maddi konusu ve finansman fiillerinin kapsamı bakımından kanun koyucunun değerlendirmesine etki eden uluslararası ölçütlerden biri olarak görülebilir.

Türkiye ve Almanya bakımından ortak nokta, FATF'ın doğrudan ceza normu koyma yetkisi olmamasına rağmen ulusal düzenlemelerde dikkate alınan bir referans çerçevesi sunmasıdır. Farklılık ise inceleme dönemleri, tespit edilen uyumsuzlukların niteliği ve mevzuat reformlarının yürütüldüğü kurumsal süreçlerde ortaya çıkmaktadır. Her iki örnek de soft law normlarının etkisinin, iç hukuka dönüşüm mekanizmaları incelenmeden anlaşılamayacağını göstermektedir.

SONUÇ

FATF'ın terörizmin finansmanıyla mücadeledeki işlevi, bağlayıcı uluslararası hukuk normları oluşturmak değil; devletlerin yararlanacağı teknik standartları geliştirmek, bunlara uyumu değerlendirmek ve eksikliklerin giderilmesini teşvik etmektir. FATF tavsiyelerinin soft law niteliği, bunların uluslararası hukukta kendiliğinden bağlayıcı olmadığını ifade eder. Buna karşılık devletler üzerinde önemli sonuçlar meydana getirmeleri, bu nitelemenin reddini gerektirmez. Biçimsel hukukilik ile siyasî, ekonomik ve kurumsal etki birbirinden ayrılmalıdır. İnceleme, FATF standartlarının etkisini güçlendiren başlıca yolların Birleşmiş Milletler ve Avrupa Birliği düzenlemeleriyle kurulan ilişki, karşılıklı değerlendirme raporları, takip süreçleri, kamuya açık listeleme ve finansal piyasa aktörlerinin risk değerlendirmeleri olduğunu göstermektedir. Bu araçlar, uyumun maliyet-fayda dengesini değiştirerek devletleri yeni kanuni ve idari tedbirler almaya yöneltebilmektedir. Bununla birlikte hiçbir mekanizma, FATF'ın doğrudan yasama yetkisine sahip olduğu biçiminde yorumlanmamalıdır.

Türkiye'de 6415 sayılı Kanun'un kabulünü önceleyen FATF açıklamaları ile Almanya'da § 89c StGB'ye uzanan reform süreci, uluslararası teknik standartların ulusal ceza hukukunda somut karşılıklar bulabildiğini ortaya koymaktadır. Her iki örnekte de FATF değerlendirmeleri ile mevzuat değişiklikleri arasında dikkate değer bir bağlantı bulunmaktadır; ancak bu ilişki tek yönlü ve münhasır nedensellik şeklinde kurulamaz. Sonuç olarak FATF'ın hukuki niteliği, bağlayıcı olmayan standartların kurumsal denetim ve uluslararası iş birliği yoluyla güçlü bir normatif etki kazanması üzerinden açıklanmalıdır.

KAYNAKÇA

Albers, M. (2015). Terrorismusfinanzierungsbekämpfung im globalen Kontext. İçinde M. Albers & L. Groth (Ed.), Globales Recht und Terrorismusfinanzierungsbekämpfung. Nomos.

Bantekas, I. (2020). The international law on terrorist financing. İçinde B. Saul (Ed.), Research handbook on international law and terrorism. Edward Elgar Publishing.

Counter-Terrorism Committee Executive Directorate. (2009). Technical guide to the implementation of Security Council Resolution 1373 (2001). United Nations.

Deutscher Bundestag. (2015). Entwurf eines Gesetzes zur Änderung der Verfolgung der Vorbereitung von schweren staatsgefährdenden Gewalttaten (BT-Drs. 18/4087).

Deutscher Bundestag. (2019). Geldwäscheprüfung Deutschlands durch die OECD (BT-Drs. 19/15937).

Deutscher Bundestag. (2020). Antwort der Bundesregierung: Geldwäscheprüfung Deutschlands durch die OECD (BT-Drs. 19/16464). https://dserver.bundestag.de/btd/19/164/1916464.pdf

Financial Action Task Force. (1990). The forty recommendations of the Financial Action Task Force on money laundering.

Financial Action Task Force. (2002). FATF annual report 2001–2002.

Financial Action Task Force. (2005). FATF annual report 2004–2005.

Financial Action Task Force. (2007a). Third mutual evaluation report: Anti-money laundering and combating the financing of terrorism—Turkey. https://www.fatf-gafi.org/content/dam/fatf-gafi/mer/MER%20Turkey%20full.pdf.coredownload.inline.pdf

Financial Action Task Force. (2010). Mutual evaluation report of Germany. https://www.fatf-gafi.org/en/publications/Mutualevaluations/Mutualevaluationofgermany.html

Financial Action Task Force. (2012a). FATF annual report 2011–2012.

Financial Action Task Force. (2026a). International standards on combating money laundering and the financing of terrorism & proliferation (updated June 2026). https://www.fatf-gafi.org/content/dam/fatf-gafi/recommendations/fatf-recommendations-2012.pdf

Financial Action Task Force. (2012c). FATF public statement—19 October 2012. https://www.fatf-gafi.org/content/dam/fatf-gafi/statements/FATF%20Public%20Statement%2019%20October%202012.pdf

Financial Action Task Force. (2014). Mutual evaluation of Germany: 3rd follow-up report. https://www.fatf-gafi.org/content/dam/fatf-gafi/fur/FUR-Germany-2014.pdf.coredownload.pdf

Financial Action Task Force. (2019a). Mandate of the Financial Action Task Force. https://www.fatf-gafi.org/en/the-fatf/mandate-of-the-fatf.html

Financial Action Task Force. (2019b). Anti-money laundering and counter-terrorist financing measures: Turkey—Mutual evaluation report. https://www.fatf-gafi.org/content/dam/fatf-gafi/mer/Mutual-Evaluation-Report-Turkey-2019.pdf.coredownload.inline.pdf

Financial Action Task Force. (2022a). FATF annual report 2021–2022.

Financial Action Task Force. (2026b). Procedures for the FATF AML/CFT/CPF mutual

evaluations, follow-up and ICRG (updated June 2026). https://www.fatf-gafi.org/content/dam/fatf-gafi/methodology/Assessment-Follow-Up-ICRG-Procedures-2022.pdf.coredownload.inline.pdf
Financial Action Task Force. (2024, 28 Haziran). Jurisdictions under increased monitoring—June 2024. https://www.fatf-gafi.org/en/publications/High-risk-and-other-monitored-jurisdictions/increased-monitoring-june-2024.html
Financial Action Task Force. (2025). Consolidated processes and procedures for mutual evaluations and follow-up: Universal procedures. https://www.fatf-gafi.org/content/dam/fatf-gafi/publications/FATF-Universal-Procedures.pdf.coredownload.inline.pdf
Financial Action Task Force. (t.y.). High-risk and other monitored jurisdictions. https://www.fatf-gafi.org/en/topics/high-risk-and-other-monitored-jurisdictions.html
G7. (1989, 16 Temmuz). Economic declaration (Paris Summit). https://g7.utoronto.ca/summit/1989paris/communique/index.html
Groth, L. (2015). Wie global ist das Recht gegen Terrorismusfinanzierung? İçinde M. Albers & L. Groth (Ed.), Globales Recht und Terrorismusfinanzierungsbekämpfung. Nomos.
Holley, G. (2009). Das Recht der internationalen Terrorismusbekämpfung: Asset freezing, UN- und FATF-Vorgaben, US-Recht, EuGH-Judikatur, Grundrechte. Jan Sramek Verlag.
Kida, M., & Paetzold, S. (2021). The impact of gray-listing on capital flows: An analysis using machine learning (IMF Working Paper No. 2021/153). International Monetary Fund.
Krämer, G. (2015). Strategien und Maßnahmen der Financial Action Task Force (FATF) zur globalen Durchsetzung ihrer Regeln zur Bekämpfung der Terrorismusfinanzierung. İçinde M. Albers & L. Groth (Ed.), Globales Recht und Terrorismusfinanzierungsbekämpfung. Nomos.
Krüger, J. (2025). Die Anforderungen der FATF an die Kriminalisierung von Terrorismusfinanzierung und ihre Umsetzung in Deutschland: Ein Beitrag zur Transnationalisierung des deutschen Strafrechts [Doktora tezi, Humboldt-Universität zu Berlin].
Poh, K. G. (2009). Measures to counter the financing of terrorism. İçinde M. Pieth, D. Thelesklaf & R. Ivory (Ed.), Countering terrorist financing: The practitioner's point of view. Peter Lang.
Simonovski, I., & Ünsal, Z. E. (2018). Countering the financing of terrorism in the international community. Peter Lang.
United Nations Security Council. (2005). Resolution 1617 (2005) (S/RES/1617).
United Nations Security Council. (2014). Resolution 2161 (2014) (S/RES/2161).
Weißer, B. (2020). Nationales Terrorismusstrafrecht – durch globale Netzwerke determiniert? İçinde K. Höffler (Ed.), Criminal law discourse of the interconnected society. Nomos.

KALP KAPAK CERRAHİSİ SONRASI İNFLAMATUVAR PARAMETRELER İLE PERİODONTİTİS EVRE VE DERECESİ ARASINDAKİ İLİŞKİ: ÖN BULGULAR

Doktor Öğretim Üyesi Mehmet Selim YILDIZ
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Diş Hekimliği Fakültesi, Periodontoloji ABD
ORCID ID: 0000-0001-6949-158X

ÖZET
Kalp kapak cerrahisi geçiren hastalarda periodontal hastalık şiddetinin postoperatif sistemik inflamasyonla ilişkisi henüz net değildir. Bu çalışmada, periodontitis evre ve derecesi ile postoperatif C-reaktif protein (CRP) düzeyleri ve beyaz kan hücresi (WBC) sayıları arasındaki ilişkinin araştırılması amaçlandı.
Bu retrospektif analizde, aort ve/veya mitral kapak cerrahisi geçiren 60 elektif ve 30 acil olmak üzere toplam 90 hasta değerlendirildi. Elektif grupta periodontal tedavi cerrahiden en az üç hafta önce tamamlanırken, acil grupta preoperatif periodontal tedavi uygulanmadı. Periodontitis evre ve dereceleri mevcut periodontal kayıtlardan belirlendi. Postoperatif CRP ve WBC ile ilişkiler Spearman korelasyon analizi ve Benjamini–Hochberg düzeltmesiyle incelendi. Ayrıca gruplar arası farklılıklar ve çok değişkenli regresyon modelleri değerlendirildi.
Acil grupta periodontitis derecesi ile postoperatif CRP arasında pozitif korelasyon saptandı ($r=0,542$; $p=0,002$; $q=0,010$). Elektif grupta ise periodontitis evresi ile postoperatif CRP arasında negatif korelasyon bulundu ($r=-0,392$; $p=0,003$; $q=0,010$). Postoperatif CRP değerleri acil grupta periodontal derece kategorilerine ($p=0,007$), elektif grupta ise evre kategorilerine ($p=0,025$) göre farklılık gösterdi. Düzeltilmiş regresyon modelinde periodontitis derecesi postoperatif WBC ile pozitif ilişkili bulundu ($\beta=1,151$; $p=0,010$). Bununla birlikte, evre ve derece postoperatif CRP ile bağımsız olarak ilişkili değildi. Grup × evre ve grup × derece etkileşimleri de anlamlı bulunmadı.
Periodontitis evre ve derecesi ile postoperatif inflamatuvar parametreler arasında farklı ilişkiler gözlendi. Bu ön bulgular, kalp kapak cerrahisi geçiren hastalarda periodontal durumun değerlendirilmesinin önemini araştırmaya yönelik bir temel sunmakla birlikte, klinik anlamlarının daha kapsamlı çalışmalarla doğrulanması gerekmektedir.
Anahtar Kelimeler: Periodontitis; Periodontal Evre; Periodontal Derece; Kalp Kapak Cerrahisi; C-Reaktif

ASSOCIATION OF PERIODONTITIS STAGE AND GRADE WITH POSTOPERATIVE INFLAMMATORY MARKERS FOLLOWING CARDIAC VALVE SURGERY: PRELIMINARY RESULTS

ABSTRACT
The relationship between periodontal disease severity and postoperative systemic inflammation in patients undergoing cardiac valve surgery remains unclear. This study investigated whether periodontitis stage and grade were associated with postoperative C-reactive protein (CRP) levels and white blood cell (WBC) counts.
This retrospective analysis included 90 patients undergoing aortic and/or mitral valve surgery, comprising 60 elective and 30 emergency cases. Elective patients completed periodontal treatment at least three weeks before surgery, whereas emergency patients received no preoperative periodontal treatment. Periodontitis stage and grade were determined from available periodontal records. Associations with postoperative CRP and WBC were evaluated using Spearman correlation analysis with Benjamini–Hochberg correction. Group differences and multivariable regression models were also examined.

In the emergency group, periodontitis grade was positively correlated with postoperative CRP (r=0.542, p=0.002, q=0.010). In the elective group, periodontitis stage showed a negative correlation with postoperative CRP (r=−0.392, p=0.003, q=0.010). Postoperative CRP also differed across grade categories in emergency patients (p=0.007) and stage categories in elective patients (p=0.025). In the adjusted regression model, periodontitis grade was positively associated with postoperative WBC (β=1.151, p=0.010), whereas neither stage nor grade was independently associated with postoperative CRP. No significant group-by-stage or group-by-grade interactions were observed.

Periodontitis stage and grade showed distinct exploratory associations with postoperative inflammatory markers. These findings highlight the potential relevance of periodontal characteristics in patients undergoing cardiac valve surgery, although further studies are needed to establish their clinical significance.

Keywords: Periodontitis; Periodontal Stage; Periodontal Grade; Cardiac Valve Surgery; C-Reactive Protein.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

KALÇA HEMİARTROPLASTİSİ SONRASI GENİŞ HEMATOM VE TEKRARLAYAN ANEMİ: BROMELAİN İÇEREN TAKVİYE KULLANIMININ SORGULANMASI

Dr. Umut Can DUVARCI
Department of Orthopedics and Traumatology, Sandikli State Hospital, Afyonkarahisar, Turkey
ORCID ID: 0009-0005-1793-9692

ÖZET

Giriş ve Amaç:
Perioperatif değerlendirmede hastaların kullandığı takviye edici ürünler ilaç öyküsünde gözden kaçabilmektedir. Bromelainin trombosit agregasyonunu etkileyebildiği deneysel çalışmalarda gösterilmiş olsa da klinik kanama riskine ilişkin veriler kesin değildir. Bu bildiride, kalça hemiartroplastisi sonrasında geniş hematom ve tekrarlayan anemi gelişen, izlem sırasında bromelain içeren çok bileşenli takviye kullandığı öğrenilen bir olgu sunulmaktadır.

Olgu Sunumu:
Altmış sekiz yaşındaki kadın hastaya, iki yıl önce dış merkezde kalça kırığı nedeniyle proksimal femoral çivi uygulanmıştı. Cut-out gelişmesi üzerine 24.04.2026 tarihinde implant çıkarılarak kalça hemiartroplastisi yapıldı. Ameliyat öncesi hemoglobin düzeyi 13,3 g/dL idi. Ameliyat sonrası dönemde taburcu edilen hastaya düşük molekül ağırlıklı heparin profilaksisi verildi.
Hasta, ameliyat sonrası yedinci günde cerrahi yara yerinden seröz akıntı ve 6,3 g/dL hemoglobin düzeyiyle yeniden başvurdu. Servise yatırılarak eritrosit süspansiyonu transfüzyonu ve seri hemoglobin takibine başlandı. Düşük molekül ağırlıklı heparin kesilerek asetilsalisilik asit 100 mg tedavisine geçildi. PT, aPTT, INR, trombosit sayısı ve böbrek fonksiyon testleri referans aralıklarındaydı. Ultrasonografide cerrahi bölgede yaklaşık 25 × 10 × 15 cm boyutlarında hematom saptandı. Bilgisayarlı tomografi anjiyografide aktif ekstravazasyon görülmedi; Doppler ultrasonografi de yapıldı.
İkinci cerrahi girişim öncesindeki takipte toplam sekiz ünite eritrosit süspansiyonu uygulanmasına rağmen hemoglobin düzeylerinde tekrarlayan düşüşler izlendi; 09.05.2026 tarihinde hemoglobin 6,0 g/dL'ye geriledi. İlaç öyküsünün yeniden sorgulanmasıyla hastanın eklem ağrıları için tedavi ekibine bildirmediği, bromelain, zerdeçal ekstresi, rutin ve vitaminler içeren bir takviyeyi kullanmayı sürdürdüğü öğrenildi. Takviye aynı gün kesildi.
Transfüzyon desteği ve klinik optimizasyon sonrasında, 10.05.2026 tarihinde hemoglobin 10,6 g/dL olarak hasta operasyona hazır hale geldi. 11.05.2026 tarihinde ameliyat öncesi hemoglobin 10,4 g/dL iken cerrahi hematom boşaltılması ve debridman uygulandı. Operasyon sırasında aktif kanama odağı saptanmadı. Ameliyat günü sonraki hemoglobin ölçümlerinde 10,1 g/dL'ye kadar düşüş görülürken, 12–19 Mayıs tarihli ölçümler 9.9 -10.2 g/dL aralığında seyretti. Bu dönemde ek transfüzyon uygulanmadı. Geç dönem takipte hemoglobin düzeyi 12,8 g/dL'ye ulaştı.

Tartışma ve Sonuç:
Takviyenin kesilmesi, transfüzyon desteği ve hematom boşaltılmasını izleyen düzelme, takviye kullanımının kanama sürecine olası katkısını düşündürmektedir. Ancak eşzamanlı müdahaleler, antitrombotik tedaviler ve ürünün çok bileşenli yapısı nedeniyle bromelaine özgü nedensellik kurulamaz. Olgu, postoperatif hematom ve tekrarlayan anemi değerlendirmesinde takviye edici ürünlerin içerik, doz ve kullanım süreleriyle birlikte sorgulanmasının önemini vurgulamaktadır.
Anahtar kelimeler: Kalça hemiartroplastisi; hematom; anemi; bromelain; takviye edici ürün.

EXTENSIVE HEMATOMA AND RECURRENT ANEMIA FOLLOWING HIP HEMIARTHROPLASTY: ASSESSMENT OF BROMELAIN-CONTAINING SUPPLEMENT USE

ABSTRACT

Background and Objective:

Dietary supplement use may be overlooked during medication history taking in the perioperative setting. Although experimental studies have demonstrated that bromelain can affect platelet aggregation, evidence regarding its clinical bleeding risk remains inconclusive. This report presents a patient who developed an extensive hematoma and recurrent anemia following hip hemiarthroplasty and was subsequently found to be using a multicomponent supplement containing bromelain.

Case Presentation:

A 68-year-old woman had undergone proximal femoral nail fixation for a hip fracture at another institution two years earlier. Following implant cut-out, the implant was removed and conversion to hip hemiarthroplasty was performed on 24 April 2026. Her preoperative hemoglobin level was 13.3 g/dL. The patient was discharged postoperatively with low-molecular-weight heparin prophylaxis.

On postoperative day seven, she presented again with serous drainage from the surgical wound and a hemoglobin level of 6.3 g/dL. She was admitted for packed red blood cell transfusions and serial hemoglobin monitoring. Low-molecular-weight heparin was discontinued and replaced with acetylsalicylic acid 100 mg. Prothrombin time, activated partial thromboplastin time, international normalized ratio, platelet count, and renal function tests were within their respective reference ranges. Ultrasonography revealed a hematoma measuring approximately 25 × 10 × 15 cm at the surgical site. Computed tomography angiography showed no active contrast extravasation; Doppler ultrasonography was also performed.

Despite the administration of eight units of packed red blood cells during the period preceding the second surgical intervention, recurrent decreases in hemoglobin were observed, with the level falling to 6.0 g/dL on 9 May 2026. A repeat medication history revealed that the patient had continued taking a supplement containing bromelain, turmeric extract, rutin, and vitamins for joint pain without informing the treating team. The supplement was discontinued that day.

Following transfusion support and clinical optimization, the patient was considered ready for surgery on 10 May 2026, with a hemoglobin level of 10.6 g/dL. On 11 May 2026, surgical evacuation of the hematoma and debridement were performed with a preoperative hemoglobin level of 10.4 g/dL. No active bleeding source was identified intraoperatively. Subsequent hemoglobin measurements on the day of surgery decreased to 10.1 g/dL, while measurements obtained between 12 and 19 May ranged from 9.9 to 10.2 g/dL. No additional transfusions were administered during this period. At longer-term follow-up, the hemoglobin level reached 12.8 g/dL.

Discussion and Conclusion:

The improvement observed following supplement discontinuation, transfusion support, and hematoma evacuation suggests that supplement use may have contributed to the bleeding process. However, concurrent interventions, antithrombotic therapy, and the multicomponent formulation of the product preclude establishing a causal relationship specifically attributable to bromelain. This case highlights the importance of obtaining a detailed history of dietary supplement use, including product composition, dosage, and duration, when evaluating postoperative hematoma and recurrent anemia.

Keywords: Hip hemiarthroplasty; hematoma; anemia; bromelain; dietary supplement.

MODÜLER FORMLAR VE DİFERENSİYEL DENKLEMLER

Kübra CENGİZ KUŞ
Bilecik Seyh Edebali University, Faculty of Science, Department of Mathematics, 11200, Bilecik
ORCID ID: 0009-0002-3468-2073
Prof. Dr. İlker İNAM
Bilecik Seyh Edebali University, Faculty of Science, Department of Mathematics, 11200, Bilecik
ORCID ID: 0000-0001-5765-3680

ÖZET
Modüler formlar üst yarı düzlemde tanımlı belirli simetri özelliklerini sağlayan analitik karmaşık fonksiyonlardır. Karmaşık periyodik fonksiyon olmaları nedeniyle her bir modüler forma bir Fourier serisi karşılık gelir. Dolayısıyla örneğin Fourier katsayılarının aritmetiği, işaret değişimi, sıfır olup olmama problemi gibi birçok problem ortaya çıkar ve uzun yıllardır aralıksız şekilde çalışılmaya devam edilmektedir. Modüler formların temel geometrik çerçevesi ise model olarak karmaşık üst yarı düzlemin kullanıldığı hiperbolik geometridir. En temel örnek ise Eisenstein serileri olup, bunlar karmaşık düzlemdeki tamsayı kafesi üzerinden tanımlanan ve Fourier katsayıları aritmetik bilgiyi taşıyan modüler formlardır. Modüler formlar ile diferansiyel denklemler arasındaki ilişki, Dedekind, Klein, Poincaré ve Ramanujan gibi birçok önemli matematikçinin çalışmalarına kadar uzanan köklü bir araştırma alanıdır. Bu ilişki, özellikle katsayıları modüler formlar tarafından belirlenen diferansiyel denklemlerin incelenmesiyle gelişmiştir. Günümüzde bu tür denklemler yalnızca saf matematikte değil, matematiksel fizik başta olmak üzere çeşitli uygulama alanlarında da aktif olarak araştırılmaktadır. Bu konuşmada, temel bilgiler verildikten sonra, katsayıları Eisenstein serilerinden oluşan adi diferansiyel denklemler ile çözümleri modüler form, özel olarak Eisenstein serisi, olan adi diferansiyel denklemler tanıtılacaktır. Bu çalışma birinci yazarın yüksek lisans tezinin bir parçasını oluşturmaktadır.
Anahtar kelimeler: Modüler formlar, adi diferensiyel denklemler, Eisenstein serileri

MODULAR FORMS AND DIFFERENTIAL EQUATIONS

ABSTRACT
Modular forms are analytic complex functions defined on the upper half-plane that satisfy specific symmetry properties. As they are complex periodic functions, a Fourier series corresponds to each modular form. Consequently, numerous problems arise—such as the arithmetic of Fourier coefficients, sign changes, and the question of whether coefficients vanish—which have been the subject of continuous research for many years. The fundamental geometric framework for modular forms is hyperbolic geometry, utilizing the complex upper half-plane as its model. A primary example is the Eisenstein series; these are modular forms defined over the integer lattice in the complex plane, with Fourier coefficients that encode arithmetic information. The relationship between modular forms and differential equations is a well-established field of research, tracing back to the work of prominent mathematicians such as Dedekind, Klein, Poincaré, and Ramanujan. This connection has evolved particularly through the study of differential equations whose coefficients are determined by modular forms. Today, such equations are actively investigated not only in pure mathematics but also in various fields of application, most notably mathematical physics. In this talk, following an introduction

to the basic concepts, we will present ordinary differential equations whose coefficients are Eisenstein series, as well as ordinary differential equations whose solutions are modular forms—specifically, Eisenstein series. This study forms part of the first author's master's thesis.
Keywords: Modular forms, ordinary differential equations, Eisenstein series

SIYASI MENECMENT VƏ SIYASI TEXNOLOGIYALAR: KONSEPTUAL ƏSASLAR VƏ FUNKSIONAL STRUKTUR

Əfəndiyeva Səadət Məcid qızı
Bakı Dövlət Universiteti
Politologiya və sosiologiya kafedrası,
fəl.ü.fəl.d., dosent, 055 329-06-25
Orcid:0000-0002-2156-4868

Xülasə

Siyasi menecment siyasi proseslərin və hadisələrin səmərəli idarə edilməsi nəzəriyyəsini və praktikasını əks etdirən, siyasi subyektlərin korporativ və ya spetsifik maraqlarının reallaşdırılmasına yönəlmiş müstəqil elmi istiqamətdir. Müstəqil bilik sahəsi kimi siyasi menecment konseptual-nəzəri baxışlar sisteminə, metodoloji prinsiplərə, inkişaf etmiş kateqorial aparata və özünəməxsus tədqiqat metodlarına malikdir. Sosial-siyasi münasibətlərin kompleks şəkildə öyrənilməsi və tənzimlənməsi kontekstində bu elmin spesifik tədqiqat obyekti və predmeti formalaşmışdır. Siyasi menecmentin konseptual, nəzəri və metodoloji müstəvidə təhlili onun sosial-siyasi və idarəetmə elmləri sistemindəki yerini və funksional xüsusiyyətlərini dəqiq müəyyənləşdirməyə imkan verir.

Siyasi idarəetmənin mexanizmləri, üsul və vasitələrinin işlənilməsi siyasi subyektlərin və tədqiqatçıların siyasi proseslərə məqsədyönlü təsir imkanlarını genişləndirir. Siyasi menecmentin müstəqil elm sahəsi kimi təşəkkülü bir sıra sosial-siyasi və idarəetmə elmlərinin qovşağında baş vermişdir. O, öz tədqiqatlarında politologiya, sosiologiya, fəlsəfə, siyasi psixologiya, idarəetmə psixologiyası və ümumi menecment nəzəriyyəsinin metodoloji potensialından və empirik təcrübəsindən geniş istifadə edir.

Etimoloji baxımdan "menecment" termini (ing. *management*, *manage* – idarə etmək) ilkin mərhələdə iri müəssisələrin, istehsalat sahələrinin və korporasiyaların idarə edilməsini ifadə etsə də, zamanla Qərb siyasi fikrində "dövlət menecmenti" (*public management*) və "siyasi menecment" (*political management*) konseptləri sabitləşmişdir. Hazırda bu anlayışlar postsovet məkanı ölkələrinin akademik və siyasi leksikonunda da mühüm yer tutur.

Açar sözlər: siyasi menecment, metodoloji prinsiplər, sosial-siyasi sistemlər, nəzəri-metodoloji əsaslar, spesifik funksiyalar.

POLITICAL MANAGEMENT AND POLITICAL TECHNOLOGIES: CONCEPTUAL FOUNDATIONS AND FUNCTIONAL STRUCTURE THE CONCEPT OF POLITICAL MANAGEMENT AND THE TECHNOLOGICAL SUBSYSTEM

Abstract

Political management is an independent scientific discipline reflecting the theory and practice of the effective management of political processes and events, aimed at realizing the corporate or specific interests of political actors. As an independent field of knowledge, political management possesses a system of conceptual-theoretical views, methodological principles, a developed conceptual framework, and distinctive research methods. The specific object and subject of this science have taken shape within the context of the comprehensive study and regulation of socio-political relations. Analyzing political management at the conceptual, theoretical, and methodological levels makes it possible to precisely define its place and functional characteristics within the system of socio-political and management sciences.

The development of mechanisms, methods, and tools for political management expands the capacity of political actors and researchers to exert a purposeful influence on political processes. The emergence of political management as an independent scientific discipline occurred at the intersection of various socio-political and management sciences. In his research, he draws extensively upon the methodological potential and empirical experience of political science, sociology, philosophy, political psychology, management psychology, and general management theory.

Etymologically, while the term "management" (derived from the English "to manage") initially referred to the administration of large enterprises, production facilities, and corporations, the concepts of "public management" and "political management" subsequently became established within Western political thought. Currently, these concepts also occupy a significant place in the academic and political lexicon of post-Soviet countries.

Keywords: political management, methodological principles, socio-political systems, theoretical-methodological foundations, specific functions.

Giriş

Bazar iqtisadiyyatı, azad rəqabət və tələb-təklif konyukturası şəraitində idarəetmə nəzəriyyəsi və praktikasını təcəssüm etdirən menecment anlayışı mənfəətin optimallaşdırılması, istehsal xərclərinin azaldılması, idarəetmə müstəqilliyinin təmin edilməsi və hüquq-məsuliyyət vəhdətinin qorunması kimi fundamental vəzifələrə söykənir. Bu kontekstdə siyasi menecment müəyyən olunmuş strateji məqsədlərə nail olmaq üçün xüsusi texnoloji yarımsistemi — prosedurlar, vərdişlər və idarəetmə metodları kompleksini ehtiva edir. Etimoloji baxımdan fəaliyyət predmetinin maddi, energetik və informasiya strukturuna təsir üsullarının sistemini ifadə edən texnologiya (*techne* – ustalıq; *logos* – təlim) subyektin bilik və bacarıqları ilə şərtlənir; dolayısı ilə fəal subyektin iştirakı olmadan texnoloji proses praktiki əhəmiyyətini itirir. Siyasi menecment texnologiyalarının əsas qayəsini idarəetmə məqsədlərinin hər bir mərhələsində resursların və prosedurların optimal əlaqələndirilməsi təşkil edir.

Siyasi texnologiyaların konseptual yanaşmaları və məzmunu

Politoloji diskuersda siyasi texnologiyaların mahiyyəti üç əsas nəzəri-metodoloji prizmadan izah olunur. *İnstrumental yanaşma* siyasi texnologiyanı zəruri nəticələrin əldə olunmasına yönəlmiş ardıcıl və ölçülə bilən fəaliyyətlər sistemi kimi; *entsiklopediya-funksional yanaşma* siyasi problemlərin həlli və obyektin durumunun dəyişdirilməsi metodikası kimi; *prosedural yanaşma* isə konkret məkan-zaman kəsiyində subyektin məqsədlərinin reallaşdırılmasına xidmət edən prosedurlar mexanizmi kimi dəyərləndirir. Siyasi texnologiyaların tətbiq subyektləri sırasına siyasi elitalar, liderlər, partiyalar və ictimai təşkilatlar daxil olduğu halda, təsir obyekti sosial qrupların siyasi şüuru və davranışıdır. Bu texnologiyalar KİV və politoloji mərkəzlər vasitəsilə reallaşdırılır, daxili strukturuna isə siyasi reklam, marketinq, media bazarı və siyasi konsaltinq xidmətləri daxildir.

Daxili mexanizm, alqoritm və daxili struktur

Funksional müstəvidə siyasi texnologiya subyektin mənafeyinə və məqsədinə uyğun olaraq fəaliyyətin alqoritmləşdirilməsini, yəni tətbiq edilən prosedurların standartlaşdırılmasını və səmərələşdirilməsini sağlayan mexanizmdir. Texnologiyanı sadəcə alət və ya texnika ilə eyniləşdirmək doğru deyildir; o, məqsədə çatmaq üçün texnikanın tətbiqi *prosesi* və bu fəaliyyətin *nəticəsidir*. Siyasi texnologiyaların işlənilməsi nəzəri (konseptual əsaslandırma), metodik (alətlərin seçilməsi) və prosedural (praktiki əməliyyat ardıcıllığı) mərhələlərdən keçir. Hakimiyyət sferasında resursların yenidən bölüşdürülməsi baş verdiyindən, tətbiq edilən texnologiyalar haqqında informasiya strateji-məxfi əhəmiyyət kəsb edir. Eyni zamanda, bu texnologiyalar məkan-zaman parametrlərindən asılı olsa da, daxilən subyektin yaradıcı və

improvizasiyalı fəaliyyətinə imkan verən elastik struktura malikdir.

Texnoloji biliyin mahiyyəti və təşkilatlanma modeli

Siyasi texnologiyaların strukturunda *spesifik biliklər, konkret prosedurlar* və *texniki resurslar* üçbucağı mühüm yer tutur. Bunlar arasında *bilik* komponenti idraki-layihələndirici və ideal-dəyişdirici xarakter daşıyır. Elmi şüur hadisələri ideallaşdırıb universal qanunauyğunluqlara istinad etdiyi halda, texnoloji bilik gerçəkliyin konkret fraqmentinə diqqət yetirir. Texnoloji biliyin məzmunu analitikin (situasiyanı diaqnostika edən), sifarişçinin (məqsədi müəyyənləşdirən) və icraçının (praktiki həlli reallaşdıran) mövqelərinin kəsişməsində formalaşır.

Siyasi məkanın texnologiyalaşdırılması modeli aşağıdakı meyarlar üzrə diferensiasiya olunur:

- **Məsələlərin xarakterinə görə:** Xüsusi (lokal) və universal texnologiyalar;
- **Sosial əhatəsinə görə:** Bütöv cəmiyyətə, etnik qruplara və ya partiyalara yönəlmiş texnologiyalar;
- **İdarəetmə iyerarxiyasına görə:** Qlobal, dövlət və regional səviyyəli texnologiyalar.

Informasiya cəmiyyətinə keçid şəraitində siyasi процессов texnologiyalaşması intensivləşir. Bu prosesin başlıca prioriteti siyasi gerçəkliyə məqsədyönlü təsir göstərməklə yanaşı, cəmiyyətin mənəvi-əxlaqi potensialını qorumaq və subyektlərarası münasibətləri hümanist prinsiplər əsasında tənzimləməkdən ibarətdir.

Ədəbiyyat siyahısı

1. Политология. Под ред. М.Н.Марченко. М., 1999
2. Соловьев А.И. Политология. С. 424
3. Macid Əfəndiyev. Siyasi elm. S. 48-58
4. Мангейм М.Б., Рич Р.К. Политология. Методы исследования. М., 1997
5. Основы политической науки. Ч. II. Общество “Знание” России, 1993, с. 156-157
6. Гаджиев К.С. Политическая наука. М., 1995, 2006. № 4
7. Гаджиев К.С. Политология. М., 2009

ZORLA YERİNDEN EDİLMENİN KİMLİK, AİDİYET VE GELECEK ALGISINA ETKİSİ: SURİYELİ GENÇLER ÜZERİNE BİR PSİKOSOSYAL İNCELEME

İlham Sebea Alleil
Psychology Department, Toros University, Bahçelievler District, Mersin, Türkiye
ORCID ID: 0009-0008-9619-2815

ÖZET

Zorla yerinden edilme, bireylerin yalnızca fiziksel yaşam alanlarını değiştiren bir süreç olmayıp kimlik, aidiyet, sosyal ilişkiler ve geleceğe yönelik beklentiler üzerinde de önemli psikososyal etkiler oluşturabilmektedir. Özellikle gençler açısından bu süreç, kimlik gelişiminin devam ettiği bir yaşam dönemine denk gelmesi nedeniyle daha karmaşık bir nitelik taşımaktadır. Bu araştırmanın amacı, zorla yerinden edilmiş Suriyeli gençlerde kimlik bileşenleri, aidiyet duygusu ve psikososyal iyi oluş arasındaki ilişkileri incelemek ve gençlerin kimlik, aidiyet ve geleceğe ilişkin deneyimlerini bütüncül bir perspektiften değerlendirmektir.

Araştırma karma yöntem deseni kullanılarak yürütülmüştür. Araştırmanın nicel bölümünde 450 katılımcıdan elde edilen veriler analiz edilmiş, nitel bölümünde ise 20 katılımcı ile gerçekleştirilen derinlemesine görüşmeler değerlendirilmiştir. Nicel verilerin analizinde korelasyon, çok değişkenli varyans analizi (MANOVA) ve aracılık analizlerinden yararlanılmıştır.

Korelasyon analizi sonuçları, yaşam doyumunun genel aidiyet ($r = .229$, $p < .01$), etnik kimlik ($r = .162$, $p < .01$) ve ulusal kimlik ($r = .168$, $p < .01$) ile pozitif yönde ilişkili olduğunu göstermiştir. MANOVA sonuçlarına göre cinsiyet ve eğitim düzeyinin anlamlı bir etkisi bulunmazken, vatandaşlık (Wilks' $\Lambda = .972$, $p = .046$) ve özellikle gelir düzeyinin (Wilks' $\Lambda = .897$, $p < .001$) anlamlı farklılaşma oluşturduğu belirlenmiştir. Aracılık analizi sonuçlarında ulusal kimlik ($\beta = .116$, $p = .016$) ve iç grup özdeşiminin ($\beta = .142$, $p = .003$) aidiyet duygusunu anlamlı biçimde yordadığı görülmüştür. Genel aidiyetin iyimserlik ($\beta = .216$, $p < .001$) ve yaşam doyumu ($\beta = .162$, $p < .001$) üzerinde pozitif, kötümserlik ($\beta = -.197$, $p < .001$) üzerinde ise negatif etkisi olduğu saptanmıştır. Ayrıca etnik kimliğin yaşam doyumu üzerinde doğrudan pozitif etkisi ($\beta = .116$, $p = .013$) belirlenmiştir. Dolaylı etkiler, ulusal kimliğin yaşam doyumu üzerindeki etkisinin aidiyet ($\beta = .026$, %95 GA [.006, .055]) ve kötümserlik ($\beta = .022$, %95 GA [.004, .045]) aracılığıyla gerçekleştiğini göstermiştir.

Nitel bulgular, Suriyeli gençlerin kimliklerini tek boyutlu bir yapıdan ziyade çok katmanlı ve içinde bulundukları sosyal bağlama göre şekillenen bir yapı olarak deneyimlediklerini ortaya koymuştur. Gençlerin aidiyet deneyimlerinin sosyal kabul ile yakından ilişkili olduğu, geleceğe yönelik algılarının ise belirsizlik ve umut arasında şekillendiği belirlenmiştir.

Araştırma bulguları genel olarak değerlendirildiğinde, kimlik ve aidiyet süreçlerinin zorla yerinden edilmiş Suriyeli gençlerin psikososyal iyi oluşlarında önemli bir rol oynadığı görülmektedir. Özellikle aidiyet duygusunun güçlendirilmesinin yaşam doyumu ve geleceğe yönelik olumlu beklentiler açısından koruyucu bir işlev görebileceği düşünülmektedir. Bu doğrultuda, gençlerin sosyal aidiyetlerini güçlendiren ve çok katmanlı kimlik gelişimlerini destekleyen psikososyal müdahalelerin uzun vadeli uyum ve iyi oluş süreçlerine katkı sağlayabileceği değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Zorla yerinden edilme, kimlik, aidiyet, yaşam doyumu, Suriyeli gençler

THE EFFECT OF FORCED DISPLACEMENT ON IDENTITY, BELONGING, AND FUTURE PERCEPTION: A PSYCHOSOCIAL STUDY ON SYRIAN YOUTH

ABSTRACT

Forced displacement is not merely a process that changes individuals' physical living environments; it can also have significant psychosocial effects on identity, belonging, social relationships, and expectations for the future. For young people in particular, this process may be more complex because it coincides with a developmental period in which identity formation is still ongoing. The present study aims to examine the relationships between identity components, sense of belonging, and psychosocial well-being among forcibly displaced Syrian youth and to evaluate their experiences of identity, belonging, and the future from a holistic perspective.

The study employed a mixed-methods design. In the quantitative phase, data obtained from 450 participants were analyzed, while the qualitative phase consisted of in-depth interviews with 20 participants. Correlation analysis, multivariate analysis of variance (MANOVA), and mediation analyses were used to examine the quantitative data.

Correlation analyses indicated that life satisfaction was positively associated with sense of belonging ($r = .229$, $p < .01$), ethnic identity ($r = .162$, $p < .01$), and national identity ($r = .168$, $p < .01$). MANOVA results revealed no significant effects of gender or education level, whereas citizenship (Wilks' $\Lambda = .972$, $p = .046$) and particularly income level (Wilks' $\Lambda = .897$, $p < .001$) produced significant differences. Mediation analyses demonstrated that national identity ($\beta = .116$, $p = .016$) and in-group identification ($\beta = .142$, $p = .003$) significantly predicted sense of belonging. Sense of belonging positively predicted optimism ($\beta = .216$, $p < .001$) and life satisfaction ($\beta = .162$, $p < .001$), while negatively predicting pessimism ($\beta = -.197$, $p < .001$). Ethnic identity also had a direct positive effect on life satisfaction ($\beta = .116$, $p = .013$). Indirect effects showed that national identity influenced life satisfaction through belonging ($\beta = .026$, 95% CI [.006, .055]) and pessimism ($\beta = .022$, 95% CI [.004, .045]).

Qualitative findings revealed that Syrian youth experience their identities as multilayered and shaped by the social contexts in which they live rather than as a single-dimensional structure. Their experiences of belonging were closely associated with social acceptance, while their perceptions of the future were shaped by both uncertainty and hope.

Overall, the findings demonstrate that identity and belonging processes play an important role in the psychosocial well-being of forcibly displaced Syrian youth. Strengthening the sense of belonging may serve a protective function in relation to life satisfaction and positive expectations for the future. Accordingly, psychosocial interventions that strengthen social belonging and support multilayered identity development may contribute to young people's long-term adaptation and well-being.

Keywords: Forced displacement, identity, sense of belonging, life satisfaction, Syrian youth

ÜNİVERSİTE ÖĞRENCİLERİNDE ROMANTİK İLİŞKİLERDE PSİKOLOJİK ESNEKLİK VE ALGILANAN İLİŞKİ KALİTESİ ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

Bersun DEMİR
Yüksek Lisans Öğrencisi, Altınbaş Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Klinik Psikoloji Yüksek Lisans Programı, İstanbul, Türkiye
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0002-2909-7064

ÖZET
Romantik ilişkilerde psikolojik esneklik, çiftlerin ilişki sürecinde ortaya çıkan tüm duygu ve düşüncelerini fark edip kabul edebilmesi ve özellikle zorlayıcı durumlar karşısında ortak ilişki değerleri doğrultusunda esnek ve yapıcı tutumlar sergileyebilmesi olarak tanımlanmaktadır. Algılanan romantik ilişki kalitesi ise bireyin ilişkisinden aldığı doyum, adanmışlık, güven, yakınlık, tutku ve aşk boyutları üzerinden yaptığı bütüncül öznel değerlendirmeyi ifade etmektedir. Genç yetişkinlik döneminde romantik ilişkilerde gözlenen bilişsel ve duygusal esneklik süreçlerinin ilişki kalitesini ve psikolojik iyi oluşu desteklemedeki rolü kritik öneme sahiptir. Bu bağlamda, genel psikolojik esneklik yerine doğrudan ilişki etkileşimine ve değerlerine özgü bağlamsal bir ölçme aracının (RİPEÖ) kullanılması ve genç yetişkinlerin sürdürdükleri romantik ilişkilerin ele alınmasıyla alanyazına önemli bir katkı sunması hedeflenmektedir. Bu araştırmanın amacı, genç yetişkin üniversite öğrencilerinde bağımsız değişken olan romantik ilişkilerde psikolojik esneklik düzeyinin, bağımlı değişken olan algılanan romantik ilişki kalitesini yordayıp yordamadığını incelemek ve bu ilişkinin yönü ile gücünü belirlemektir. Araştırmada nicel araştırma yöntemlerinden ilişkisel tarama modeli benimsenmiştir. Çalışmanın örneklemini, en az 6 aydır romantik ilişki sürdüren, 18-29 yaş arası genç yetişkin üniversite öğrencileri oluşturacaktır. Veriler kolayda örnekleme yöntemiyle çevrim içi anket platformları aracılığıyla anonim olarak toplanacaktır. Etik kurul onayı sonrasında katılımcılara bilgilendirilmiş onam sunulacak; veri toplama aracı olarak Sosyodemografik Bilgi Formu, Barkale Şahin ve Hamarta (2024) tarafından geliştirilen Romantik İlişkilerde Psikolojik Esneklik Ölçeği (RİPEÖ) ve Fletcher ve arkadaşları (2000) tarafından geliştirilip Sağkal ve Özdemir (2018) tarafından Türkçeye uyarlanan Algılanan Romantik İlişki Kalitesi Ölçeği (ARİKÖ) uygulanacaktır. Verilerin analizinde Pearson korelasyon analizi ve basit doğrusal regresyon analizi kullanılacaktır. Romantik ilişkilerde psikolojik esneklik ile ilişki kalitesi arasında pozitif yönlü anlamlı ilişki bulunması ve esnekliğin ilişki kalitesindeki varyansın anlamlı bir kısmını açıklaması beklenmektedir. Bulguların, genç yetişkinlerin romantik ilişkilerine yönelik önleyici ve geliştirici psikolojik müdahalelerin tasarlanmasında kuramsal ve uygulamalı katkı sunması beklenmektedir.
Anahtar kelimeler: Psikolojik Esneklik, İlişki Kalitesi, Üniversite Öğrencileri, Romantik İlişkiler

INVESTIGATING THE RELATIONSHIP BETWEEN PSYCHOLOGICAL FLEXIBILITY IN ROMANTIC RELATIONSHIPS AND PERCEIVED ROMANTIC RELATIONSHIP QUALITY AMONG UNIVERSITY STUDENTS

ABSTRACT
In romantic relationships, psychological flexibility is defined as partners' ability to recognize and accept all emotions and thoughts arising in the relationship process and to display flexible, constructive attitudes in line with shared values, particularly during challenging situations. Perceived romantic relationship quality refers to an individual's holistic subjective evaluation

of their relationship across dimensions such as satisfaction, commitment, trust, intimacy, passion, and love. In young adulthood, cognitive and emotional flexibility processes play a critical role in supporting relationship quality and psychological well-being. In this context, using a contextual measurement tool specific to relationship interactions and values—rather than general psychological flexibility—and examining romantic relationships maintained by young adults aims to make a significant contribution to the literature. This study aims to examine whether psychological flexibility in romantic relationships predicts perceived romantic relationship quality among young adult university students, and to determine the direction and strength of this relationship. Adopting a correlational survey model, the sample will consist of young adult university students aged 18–29 in a romantic relationship for at least six months. Data will be collected anonymously via online survey platforms using convenience sampling. Following ethics committee approval and informed consent, instruments will include the Sociodemographic Information Form, the Romantic Relationship Psychological Flexibility Scale (RRPFS) developed by Barkale Şahin and Hamarta (2024), and the Perceived Romantic Relationship Quality Scale (PRRQS) developed by Fletcher et al. (2000) and adapted by Sağkal and Özdemir (2018). Data will be analyzed using Pearson correlation and simple linear regression analyses. A significant positive relationship is expected between psychological flexibility and relationship quality, with flexibility explaining a significant portion of variance. The findings are expected to offer theoretical and practical contributions to designing preventive and developmental psychological interventions targeting young adults' romantic relationships.

Keywords: Psychological Flexibility, Relationship Quality, University Students, Romantic Relationships.

AZERBAYCAN VE TÜRKİYE EDEBİYATLARININ DİJİTAL KARŞILAŞTIRMALI ANALİZİ: METİN, KENT VE MİLLÎ KİMLİK

Ph.D., Ilaha Khaleddin gizi VALIYEVA
Sumgayit State University, Sumqayıt, Azerbaijan.
ORCID: 0000-0002-6136-7311

Makalede Azerbaycan ve Türkiye edebiyatlarının karşılaştırmalı incelenmesinde dijital beşerî bilim yöntemlerinin edebiyat araştırmaları açısından sunduğu imkânlar ele alınmaktadır. Dijital yöntem, araştırmanın amacı olarak değil, edebî metnin poetik ve anlamsal özelliklerini daha geniş bir metin bütünü üzerinden belirlemeye yardımcı olan bir araç olarak değerlendirilmektedir. Çalışmanın odağında kent imgesi, millî kimlik, bellek, vatan kavramı ve edebî mekânın semantiği yer almaktadır. Anar'ın Ağ Koç, Kara Koç ve Orhan Pamuk'un Kara Kitap adlı eserlerinden seçilen somut metin örnekleri karşılaştırmalı incelemeye dâhil edilmektedir. Seçilen alıntıların sözcüksel ve anlamsal yapıları üzerinden "kent", "vatan", "özgürlük", "kimlik" ve "bellek" gibi kavramların iki farklı edebî gelenekte farklı poetik işlevler üstlendiği ortaya konulmaktadır. Makalede distant reading ile close reading yöntemlerinin birlikte kullanılması önerilmektedir. Sonuç olarak, Azerbaycan ve Türkiye edebiyatlarının dijital karşılaştırmasının temel bilimsel değerinin yalnızca istatistiksel göstergelerde değil, bu göstergelerin somut edebî metnin poetikası ve tarihsel-kültürel bağlamıyla ilişkilendirilmesinde ortaya çıktığı sonucuna varılmaktadır.
Anahtar Kelimeler: *Azerbaycan Edebiyatı, Türkiye Edebiyatı, Anar, Orhan Pamuk, Kent İmgesi, Millî Kimlik, Bellek, Karşılaştırmalı Edebiyat, Dijital Beşerî Bilimler.*

DIGITAL COMPARATIVE ANALYSIS OF AZERBAIJANI AND TURKISH LITERATURE: TEXT, CITY AND NATIONAL IDENTITY

ABSTRACT This article investigates the literary potential of Digital Humanities methods in the comparative study of Azerbaijani and Turkish literature. Computational approaches are treated not as ends in themselves but as instruments for identifying poetic and semantic patterns across larger bodies of literary texts. Particular attention is paid to representations of the city, national identity, memory, homeland, and literary space. Textual examples from Anar's *Ağ qoç, qara qoç* and Orhan Pamuk's *Kara Kitap* are subjected to comparative close reading. The lexical and semantic structures of selected passages demonstrate different literary functions of concepts such as city, homeland, freedom, identity, and memory. The study proposes a methodological synthesis of distant reading and close reading and argues that the value of digital comparative literary studies lies not in statistical data alone but in connecting quantitative patterns to poetic structures and historical-cultural contexts.
Keywords: *Azerbaijani literature, Turkish literature, Anar, Orhan Pamuk, city, national identity, memory, comparative literature, Digital Humanities.*

INTRODUCTION

Azerbaycan ve Türkiye edebiyatları, Türk halklarının ortak kültürel tarihinin iki önemli kolunu oluşturmaktadır. Dil yakınlığı, ortak destan geleneği, klasik Doğu poetikası, İslam kültürü ve modernleşme süreçleri, her iki edebiyat arasında karşılaştırmalı araştırmalar için geniş imkânlar yaratmıştır. Bununla birlikte, geleneksel karşılaştırmalı edebiyat araştırmaları çoğunlukla seçilmiş yazarlar ve eserler üzerine kurulmaktadır. Örneğin Anar ve Orhan Pamuk, Celil Memmedguluzade ve Aziz Nesin, Muhammed Hadi ve Mehmet Âkif Ersoy, Bahtiyar

Vahabzade ve Nâzım Hikmet gibi yazarlar belirli poetik ve tematik ölçütler doğrultusunda karşılaştırmalı incelemeye tabi tutulabilir. Bu yöntem derin yorumlama açısından vazgeçilmezdir. Ancak yüzlerce roman ve binlerce şiirde gerçekleşen tarihsel ve anlamsal değişimleri aynı yöntemle izlemek insan araştırmacı açısından fiilen mümkün değildir. Dijital Beşerî Bilimler ise araştırma sorusunun ölçeğini genişletmekte, aynı motiflerin yüzlerce metin içerisindeki tarihsel değişimini izlemeyi mümkün hâle getirmektedir. Bununla birlikte dijital yöntemin amacı metnin kendisini arka plana itmek değildir. Bu araştırmada temel ilke şu şekilde belirlenmektedir: **dijital gösterge → edebî metin → filolojik yorum.**

Ünlü İtalyan edebiyat kuramcısı Franco Moretti'nin **"distant reading" – "uzak okuma"** kavramı, geniş metin kütlelerinde tür, tema ve sözcüksel değişimlerin incelenmesine imkân sağlamaktadır [1. 49–50]. Ancak tek tek sözcüklerin istatistiksel sıklığı eserin estetik işlevini bütünüyle açıklayamaz. Örneğin "vatan" sözcüğünün belirli bir romanda on kez, başka bir romanda ise beş kez kullanılması, birinci eserde vatan kavramının mutlaka iki kat daha güçlü olduğu anlamına gelmez. Edebî anlam; bağlam, metafor, ironi, anlatı perspektifi, karakter bilinci ve simgesel sistem aracılığıyla oluşmaktadır. Bu nedenle dijital çözümlemenin sonuçları **close reading – "yakın okuma"** ya da ayrıntılı metin çözümlemesiyle kontrol edilmelidir. En uygun model ise şu şekilde belirlenebilir: **korpus → istatistiksel eğilim → somut metin → poetik yorum.**

Azerbaycan dilinin ulusal korpusunun ve sözcüksel veri tabanının oluşturulması edebiyat araştırmaları açısından yeni imkânlar sağlamaktadır. Nadir Memmedli, Mesut Mahmudov ve İlham Tahirov'un araştırmasında Azerbaycan dilinin farklı işlevsel üsluplarına ait 520 milyon sözcük biçiminden oluşan malzemenin işlendiği gösterilmektedir [2]. Edebiyat araştırmaları açısından gelecekte edebî metinlerden oluşan özel bir korpusun hazırlanması daha verimli olacaktır. Böyle bir korpusta her eser hakkında yazar, tür, ilk yayımlanma tarihi, edebî dönem, edebî akım, anlatı tipi, mekân ve eserin dili gibi üst veriler saklanmalıdır. Bu durum, edebiyat tarihinin yalnızca tek tek kanonik metinler üzerinden değil, geniş bir edebî malzeme temelinde incelenmesine imkân verecektir.

Karşılaştırma amacıyla Azerbaycan ve Türkiye edebiyatlarından aynı dönem ve türe ait dengeli metinler seçilebilir:

Dönem	**Azerbaycan**	**Türkiye**
XIX. yüzyılın sonu	Realizm ve aydınlanmacılık	Tanzimat sonrası nesir
1900–1920	Romantizm ve realizm	II. Meşrutiyet
1920–1950	Sovyet dönemi nesri	Erken Cumhuriyet
1950–1990	Kent nesri, modernizm	Modernizm, toplumsal nesir
1990–2025	Bağımsızlık dönemi	Çağdaş ve postmodern nesir

Böyle bir korpus somut edebiyat soruları etrafında oluşturulmalıdır. Örneğin: Bakü ve İstanbul nasıl poetikleştirilmektedir? Vatan kavramının anlamsal alanı nasıl değişmektedir? Millî kimlik bireysel kahramanın bilincinde nasıl ortaya çıkmaktadır? Tarihsel bellek hangi imgeler aracılığıyla ifade edilmektedir?

Edebiyatta kent yalnızca olayların gerçekleştiği coğrafi bir mekân değildir. Dostoyevski'nin Petersburg'u, Joyce'un Dublin'i ve Tanpınar'ın İstanbul'u gibi kent bazen edebî eserin bağımsız bir karakterine dönüşmektedir. Azerbaycan nesrinde Bakü de farklı tarihsel

dönemlerde benzer bir işlev üstlenmiştir. Anar'ın nesrinde Bakü, insanın kişisel belleği, toplumsal yaşamı ve millî-kültürel kimliğiyle ilişkilidir. Orhan Pamuk'ta İstanbul ise bellek, hüzün, kimlik ve geçmiş ile şimdiki zamanın karşılaştığı karmaşık bir semiyotik mekân olarak sunulmaktadır. Bu bakımdan Bakü–İstanbul karşılaştırması yalnızca iki kentin karşılaştırılması değil, iki edebî dünya modelinin karşılaştırılmasıdır. Anar'ın "*Ağ Koç, Kara Koç"* eserinin ütopik bölümünde Bakü, geleceğin millî-kültürel kent modeli olarak kurulmaktadır. Melik kente bakarken yazar onun duygusal ilişkisini şu sözlerle ifade eder: **"Sonsuz məhəbbətlə sevdiyi şəhərə..."** [3, s. 353]. Bu kısa ifadede "kent" yalnızca kentsel bir mekân değildir. "Sevgi" semantiği mekânı kahramanın kişisel ve millî belleğine bağlamaktadır. Bakü; doğum yeri, bellek, kültür, tarih ve millî aidiyet gibi anlamsal katmanlar kazanmaktadır.

Orhan Pamuk'un "*Kara Kitap"* romanının sonunda ise İstanbul bireysel bellek ve kayıpla birleştirilmektedir: **"Rüya'yı hatırlıyor ve İstanbul'un karanlığına bakıyoruz."** [4, s. 436]. Burada kent "karanlık" semantiğiyle sunulmaktadır. Anar'da kent sevginin ve aidiyetin, Pamuk'ta ise bellek ve kaybın edebî taşıyıcısına dönüşmektedir. Dolayısıyla anlamsal bir karşılaştırma yapıldığında Anar'da **kent → sevgi → aidiyet → millî bellek**, Pamuk'ta ise **kent → karanlık → kayıp → bireysel bellek** modeli ortaya çıkmaktadır.

Dijital korpus genişletildiğinde "Bakü" ve "İstanbul" sözcüklerinin hangi duygusal sıfatlar ve fiillerle eşdizimlilik oluşturduğu yüzlerce metin üzerinden belirlenebilir. Ancak istatistiksel sonucun anlamını yine close reading, yani yakın okuma yöntemi belirlemelidir.

Millî Kimlik ve "Kendin Olmak" Problemi

Anar'ın "*Ağ Koç, Kara Koç"* eserinin poetik sisteminde millî kimlik bir taraftan kültürel bellek, diğer taraftan özgürlük ve sorumluluk ilişkisi üzerine kurulmaktadır. Eserin ütopik Bakü tasvirinde çınar simgesine başvurularak şöyle denilmektedir: **"Azadlıq və Məsuliyyət duyğularının arasında daima baqi qala bilər."** [3, s. 343]. Burada millî varlığın korunması yalnızca özgürlük kavramıyla sınırlandırılmamaktadır. **"Özgürlük – sorumluluk – Azerbaycan"** biçiminde anlamsal bir üçlü oluşturulmaktadır. Bu, millî kimliğin etik modelidir.

Orhan Pamuk'un "*Kara Kitap"* romanında ise kimlik problemi bireyin kendisine dönmesi üzerinden ifade edilmektedir. Celâl'in düşüncesinde tekrarlanan **"Kendin olmalısın, kendin olmalısın, kendin olmalısın!"** [4, s. 179] ifadesi romanın kimlik probleminin temel leitmotiflerinden birine dönüşmektedir. Burada karşılaştırmalı farklılık açık biçimde görülmektedir. Anar'da **kimlik → kolektif bellek → vatan → özgürlük → sorumluluk** modeli ön plana çıkarken, Pamuk'ta **kimlik → birey → bellek → başkası olmak → kendini aramak** modeli belirginleşmektedir.

Bununla birlikte her iki yazar açısından temel problem "kendin olmak"tır. Ancak Anar'da bu problem daha açık biçimde millî-kolektif bağlama, Pamuk'ta ise bireysel ve kültürel kimliğin parçalanmasına bağlanmaktadır. Bu bakımdan dijital metin çözümlemesinde "öz", "kimlik", "halk", "vatan", "bellek" ve "başkası" gibi kavramların anlamsal ağlarının kurulması önemli edebiyatbilimsel sonuçlar sağlayabilir.

Vatan ve Bellek Kavramlarının Dijital-Semantik Analizi

Anar'ın "*Ağ Koç, Kara Koç"* eserinin antiütopik bölümünde Melik kendi kentinden ve ait olduğu kültürel mekândan uzaklaştırılmıştır. Yazar onun durumunu son derece özlü bir cümleyle ifade eder: **"İndi Vətən Məlikçün ORA idi."** [3, s. 359]. Cümlenin poetik gücü "Vatan" ve "ORA" sözcüklerinin karşıtlığından doğmaktadır. "Vatan" yakınlık, aidiyet ve kendine ait olma anlamı taşıması gereken bir kavramken, "ora" uzaklığı ifade etmektedir. Böylelikle **Vatan → ORA** biçimindeki anlamsal dönüşüm antiütopyanın temel trajedisini ortaya koymaktadır. Mekânın kaybedilmesi aynı zamanda kimliğin kaybedilmesine dönüşmektedir.

"Kara Kitap"'ta İstanbul'un tasviri de bellek ve kimlik krizinin ayrılmaz bir parçasıdır. Kent **"hâlâ yeni fethedilmiş bir şehir gibi"** sunulmaktadır [4, s. 309]. Bu ifade, kentin tamamlanmış ve sabit bir kültürel kimliğe sahip olmadığını göstermektedir. İstanbul sürekli olarak geçmiş ile bugün, Doğu ile Batı, bellek ile unutma, kendisi olmak ile başkasına dönüşmek arasında yeniden oluşan bir kenttir. Bu örneklerden hareketle dijital korpusta Anar için **Vatan – Bakü – özgürlük – sorumluluk – tarih – millî bellek**, Pamuk için ise **İstanbul – bellek – hüzün – karanlık – kimlik – başkası** gibi anlamsal gruplar oluşturulabilir.

Algoritma bu sözcüklerin birlikte kullanım sıklığını belirleyebilir; ancak onların edebî-estetik işlevini filolojik çözümleme açıklamalıdır.

Edebiyatın istatistiksel çözümlemesi belirli bir tehlikeyi de beraberinde getirmektedir: sayısal verinin doğrudan edebî anlamın kendisi olarak kabul edilmesi. Örneğin "vatan" sözcüğünün bir eserde daha fazla kullanılması, o eserin daha vatansever olduğu anlamına gelmez. Edebî metinde bir sözcüğün anlamı onun bağlamına, anlatı konumuna, ironisine, metaforik işlevine ve imge sistemindeki yerine bağlıdır. Tam da **"İndi Vətən Məlikçün ORA idi."** cümlesi bunu göstermektedir. Burada "vatan" sözcüğü yalnızca bir kez kullanılmaktadır; ancak bütün antiütopyanın ideolojik-estetik içeriğini kendi içinde toplayabilmektedir. Bu nedenle dijital edebiyat araştırmalarının temel ilkesi şöyle olmalıdır: **sıklık anlam değildir; sıklık, anlama götüren bir göstergedir.**

SONUÇ

Azerbaycan ve Türkiye edebiyatlarının dijital karşılaştırılması edebiyat araştırmaları açısından geniş imkânlar sunmaktadır. Bununla birlikte araştırmanın merkezinde bilgisayar değil, **edebî metin** yer almalıdır. Anar ve Orhan Pamuk'un eserlerinin karşılaştırılması, kent, bellek ve kimliğin her iki yazarda da önemli poetik kategoriler olduğunu göstermektedir. Anar'da Bakü daha çok millî aidiyet ve tarihsel bellekle, Pamuk'ta İstanbul ise bireysel bellek, kimlik krizi ve hüzünle ilişkilendirilmektedir. Anar'ın **"İndi Vətən Məlikçün ORA idi."** cümlesi ile Pamuk'un **"Kendin olmalısın..."** leitmotifi iki farklı edebî modelin merkezî problemini ortaya koymaktadır. Birinci durumda aidiyetin kaybı, ikinci durumda ise kimliğin kaybı temel sorun hâline gelmektedir. Gelecekte kapsamlı bir Azerbaycan–Türkiye edebiyat korpusu oluşturulduğu takdirde, bu tür tekil örnekler yüzlerce eser üzerinden karşılaştırılabilir. Böylece dijital yöntemin edebiyat araştırmaları açısından en uygun formülü şu şekilde belirlenebilir: **korpus → eğilim → edebî metin → close reading → edebî yorum.**

KAYNAKÇA

1. Moretti, F. *Distant Reading*. Verso, 2013, 224 s.
2. Mammadli, N., Mahmudov, M., & Tahirov, I. "National Corpus and Lexical Infrastructure: The Experience of Building the Azerbaijani Language Lexical Database." *Linguistic Researches*, 2025.
3. Anar. *Seçilmiş əsərləri*. Bakı: Lider nəşriyyat, 2004, 416 s.
4. Pamuk, O. *Kara Kitap*. İstanbul, 2010, 465 s.
5. Aksan, Y., Aksan, M., Koltuksuz, A., Sezer, T., Mersinli, Ü., vd. "Construction of the Turkish National Corpus." 2012.
6. Aliyeva, Z. "Artificial Intelligence, Digital Literary Studies and Nizami Ganjavi's Humanistic Philosophy." *Azerbaijan Literature Studies*, 2025, s. 265–271.
7. Həbibbəyli, İ. Ə. *Azərbaycan ədəbiyyatı: dövrləşdirmə konsepsiyası və inkişaf mərhələləri*. Bakı: Elm, 2019, 452 s.
8. Jockers, M. L. *Macroanalysis: Digital Methods and Literary History*. University of Illinois Press, 2013, 328 s.
9. Schreibman, S., Siemens, R., & Unsworth, J. (Eds.). *A Companion to Digital Humanities*. Blackwell, 2004, 640 s.
10. Sinclair, J. *Corpus, Concordance, Collocation*. Oxford University Press, 1991, 179 s.

ERP SİSTEMLERİNDE YAPAY ZEKA TABANLI KARAR DESTEK: AKILLI PLANLAMA, TALEP TAHMİNİ VE KESTİRİMCİ BAKIM

Esra DEMİRCİ
Thales Bilişim Yazılım ve Danışmanlık Tic. Ltd. Şti., Ankara/Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-9467-4310

ÖZET
Kurumsal kaynak planlama (ERP) sistemleri; satış, satın alma, stok, üretim, bakım ve kalite süreçlerine ilişkin önemli miktarda operasyonel veri üretmektedir. Bununla birlikte, bu veriler çoğunlukla geriye dönük raporlama amacıyla kullanılmakta, tahmin ve operasyonel karar desteği açısından yeterince değerlendirilememektedir. Bu çalışmada, farklı ERP modüllerinden elde edilen heterojen verilerin talep tahmini, stok düzeyi öngörüsü, sipariş gecikme riskinin belirlenmesi, üretim planlama ve kestirimci bakım gibi karar problemlerinde kullanılmasını sağlayan modüler bir yapay zeka tabanlı karar destek yaklaşımı önerilmektedir.
Önerilen yaklaşımda, görevin niteliğine bağlı olarak zaman serisi tahmini, denetimli makine öğrenmesi, sınıflandırma ve anomali tespiti yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Model geliştirme sürecinde veri ön işleme, öznitelik mühendisliği, algoritma seçimi ve hiperparametre optimizasyonu AutoML tabanlı bir yapı aracılığıyla gerçekleştirilmektedir. Zamana bağlı ERP verilerinde bilgi sızıntısını önlemek amacıyla kronolojik eğitim, doğrulama ve test ayrımları kullanılmaktadır. Geliştirilen modeller temel yöntemler ve alternatif makine öğrenmesi modelleriyle karşılaştırılmakta ve performansları göreve uygun ölçütlerle değerlendirilmektedir. Model çıktılarının yorumlanabilirliğini artırmak amacıyla özniteliklerin tahmin sonuçlarına katkıları açıklanabilir yapay zeka yöntemleriyle incelenmektedir.
Önerilen yaklaşımın geçmiş ERP verileri ve pilot işletmeden elde edilen veriler üzerinde doğrulanması, tahmin performansının ve karar desteğine katkısının değerlendirilmesi amaçlanmaktadır. Çalışmanın, ERP verilerinin tahmin ve operasyonel karar desteğinde kullanılmasına yönelik farklı ERP yapıları ve kurumsal süreçlere uyarlanabilecek bir yöntemsel çerçeve sunması hedeflenmektedir.
Anahtar kelimeler: ERP, Yapay Zeka, Makine Öğrenmesi, AutoML, Talep Tahmini, Kestirimci Bakım

AI-BASED DECISION SUPPORT IN ERP SYSTEMS: SMART PLANNING, DEMAND FORECASTING, AND PREDICTIVE MAINTENANCE

ABSTRACT
Enterprise resource planning (ERP) systems generate a significant amount of operational data related to sales, purchasing, inventory, production, maintenance, and quality processes. However, these data are mostly used for retrospective reporting and are not sufficiently utilized for forecasting and operational decision support. This study proposes a modular AI-based decision support approach that enables heterogeneous data obtained from different ERP modules to be used for decision problems such as demand forecasting, inventory level prediction, identification of order delay risk, production planning, and predictive maintenance. Depending on the nature of the task, the proposed approach employs time series forecasting, supervised machine learning, classification, and anomaly detection methods. During model development, data preprocessing, feature engineering, algorithm selection, and hyperparameter optimization are carried out through an AutoML-based structure. Chronological training, validation, and test splits are used to prevent information leakage in time-dependent ERP data.

The developed models are compared with baseline methods and alternative machine learning models, and their performance is evaluated using task-appropriate metrics. To improve the interpretability of model outputs, the contributions of features to prediction results are examined using explainable artificial intelligence methods.
The proposed approach is intended to be validated using historical ERP data and data obtained from a pilot enterprise, and its forecasting performance and contribution to decision support will be evaluated. The study aims to provide a methodological framework for using ERP data for forecasting and operational decision support that can be adapted to different ERP structures and organizational processes.
Keywords: ERP, Artificial Intelligence, Machine Learning, AutoML, Demand Forecasting, Predictive Maintenance

ENDÜSTRİYEL ÜRETİM VE TEDARİK ZİNCİRİ SÜREÇLERİ İÇİN ERP TABANLI DİJİTAL İKİZ KARAR DESTEK PLATFORMU: SİMÜLASYON VE SENARYO ANALİZİ

Esra DEMİRCİ
Thales Bilişim Yazılım ve Danışmanlık Tic. Ltd. Şti., Ankara/Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-9467-4310

ÖZET
İmalat sanayindeki üretim, tedarik zinciri ve envanter süreçleri, çok sayıda değişkenin etkileşim içinde olduğu karmaşık yapılardan oluşmaktadır. ERP sistemleri önemli miktarda operasyonel veri üretmesine rağmen, kapasite, tedarikçi veya envanter politikası değişikliklerinin etkilerinin uygulama öncesinde değerlendirilmesi konusunda sınırlı kalabilmektedir. Bu çalışmada, geçmiş ve yakın gerçek zamanlı ERP verilerinden yararlanarak üretim, lojistik ve envanter süreçlerinin dijital ikiz tabanlı temsilini oluşturan ve farklı senaryoların simülasyon yoluyla analizini sağlayan bir karar destek platformunun geliştirilmesi amaçlanmıştır.
Çalışma kapsamında üretim, malzeme yönetimi, satın alma ve lojistik verileri analiz edilmiş, işlem geçmişleri ve süreç günlüklerinden iş akışları ile süreç modellerinin çıkarılması için süreç madenciliği ve süreç keşfi yöntemlerinden yararlanılmıştır. Elde edilen modeller geçmiş ERP verileriyle oluşturulmuş, yakın gerçek zamanlı verilerle güncellenerek üretim ve lojistik akışları sanal ortamda simüle edilmiştir. Senaryo analizi ile kapasite değişiklikleri, tedarik gecikmeleri, vardiya planları ve envanter dalgalanmalarının etkileri canlı sisteme müdahale edilmeden incelenmiş olup darboğazlar, kapasite kısıtları ve süreç riskleri değerlendirilmiştir. ERP entegrasyonu sayesinde dijital modelin güncel operasyonel verilerle beslenmesi sağlanmıştır.
Çalışmada, prototipin doğrulanmasında simülasyon çıktıları, pilot işletmeden elde edilen gözlemsel verilerle temel operasyonel performans göstergeleri üzerinden karşılaştırılmıştır. Böylece dijital modelin gerçek üretim ve lojistik süreçlerini temsil etme yeterliliği değerlendirilmiştir. Çalışma, operasyonel değişikliklerin uygulama öncesinde test edilmesine ve farklı karar senaryolarının etkilerinin karşılaştırılmasına yönelik ERP tabanlı bir analiz ve karar destek altyapısı sunmaktadır.
Anahtar kelimeler: ERP, Dijital İkiz, Simülasyon, Süreç Madenciliği, Senaryo Analizi, Karar Destek

ERP-BASED DIGITAL TWIN DECISION SUPPORT PLATFORM FOR INDUSTRIAL PRODUCTION AND SUPPLY CHAIN PROCESSES: SIMULATION AND SCENARIO ANALYSIS

ABSTRACT
Production, supply chain, and inventory processes in manufacturing enterprises consist of complex structures in which numerous variables interact with one another. Although ERP systems generate a significant amount of operational data, they may remain limited in evaluating the effects of changes in capacity, suppliers, or inventory policies before implementation. In this study, it was aimed to develop a decision support platform that creates a digital twin-based representation of production, logistics, and inventory processes using historical and near-real-time ERP data and enables different scenarios to be analyzed through simulation.
Within the scope of the study, production, material management, purchasing, and logistics data

were analyzed, and process mining and process discovery methods were used to extract workflows and process models from transaction histories and process logs. The resulting models were created using historical ERP data and updated with near-real-time data, while production and logistics flows were simulated in a virtual environment. Through scenario analysis, the effects of capacity changes, supply delays, shift plans, and inventory fluctuations were examined without intervening in the live system, and bottlenecks, capacity constraints, and process risks were evaluated. ERP integration enabled the digital model to be supplied with up-to-date operational data.

In the study, for the validation of the prototype, simulation outputs were compared with observational data obtained from the pilot enterprise using key operational performance indicators. Thus, the ability of the digital model to represent actual production and logistics processes was evaluated. The study provides an ERP-based analysis and decision support infrastructure for testing operational changes before implementation and comparing the effects of different decision scenarios.

Keywords: ERP, Digital Twin, Simulation, Process Mining, Scenario Analysis, Decision Support

28Mn6 ÇELİKTEN ÜRETİLEN BULON BORULARINDA TEMPERLEME SICAKLIĞININ MEKANİK ÖZELLİKLERE ve KULLANIM PERFORMANSINA ETKİSİ

Mutlu Çağrı YİĞİT
Kalibre Boru San. Tic. AŞ., AR-GE Merkezi, 41190 Başiskele, Kocaeli
ORCID ID: 0009-0003-6938-3986
Abdullah ÖTER
Kalibre Boru San. Tic. AŞ., AR-GE Merkezi, 41190 Başiskele, Kocaeli
ORCID ID: 0000-0001-6517-1239
Umut DURAN
Kalibre Boru San. Tic. AŞ., AR-GE Merkezi, 41190 Başiskele, Kocaeli
ORCID ID: 0009-0002-7426-209X

ÖZET
Tünel yapımında kullanılan bulon borularında, çakma işlemi sırasında maruz kaldığı yüksek mekanik yükler nedeniyle yeterli mukavemet ve sünekliğe sahip olması kritik önem taşımaktadır. Bu çalışmada, 28Mn6 kalite çelikten üretilen ve tünel uygulamalarında kullanılan bulon borularında, çakma işlemi sırasında meydana gelen kırılma probleminin nedenlerinin araştırılması amaçlanmıştır. Diş açma işlemi tamamlanan bulon borularında kullanım sırasında meydana gelen kırılmaların, malzemenin mekanik özellikleri ve süneklik davranışı ile ilişkili olabileceği değerlendirilmiştir.
Çalışma kapsamında, 28Mn6 kalite çelikten üretilen dikişli borulara farklı sıcaklıklarda temperleme ısıl işlemleri uygulanmış ve temperleme sıcaklığının malzemenin mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen ısıl işlemler sonrasında elde edilen mekanik özellikler karşılaştırılarak, yüksek mukavemet ile yeterli sünekliğin birlikte sağlandığı optimum temperleme koşulu belirlenmiştir. Deneysel sonuçlar, temperleme sıcaklığının artışıyla birlikte malzemenin mukavemet ve süneklik özelliklerinde belirgin değişimler meydana geldiğini göstermiştir. Yapılan değerlendirmeler sonucunda, 500 °C temperleme sıcaklığında mekanik özellikler açısından optimum mukavemet–süneklik dengesinin elde edildiği belirlenmiştir.
Optimum koşul olarak belirlenen 500 °C temperleme sıcaklığında ısıl işlem uygulanan borulara daha sonra diş açma işlemi gerçekleştirilmiş ve elde edilen bulon boruları gerçek tünel uygulamalarında test edilmiştir. Uygulama testleri sonucunda, söz konusu ısıl işlem koşulunda üretilen bulon borularında çakma işlemi sırasında daha önce gözlenen kırılma probleminin meydana gelmediği görülmüştür.
Anahtar kelimeler: 28Mn6 steel, bulon borusu, temperleme

EFFECT OF TEMPERING TEMPERATURE ON THE MECHANICAL PROPERTIES and IN-SERVICE PERFORMANCE OF BOLT TUBES PRODUCED FROM 28Mn6 STEEL

ABSTRACT
In tunnel construction, bolt tubes are required to possess sufficient strength and ductility due to the high mechanical loads they are subjected to during the driving process. This study aims to investigate the causes of fracture failures occurring during the driving process of bolt tubes manufactured from 28Mn6 grade steel and used in tunnel applications. It was considered that the fractures occurring during service in the bolt tubes after threading may be related to the

mechanical properties and ductility behavior of the material.
Within the scope of the study, welded tubes manufactured from 28Mn6 grade steel were subjected to tempering heat treatments at different temperatures, and the effect of tempering temperature on the mechanical properties of the material was investigated. The mechanical properties obtained after heat treatments at different temperatures were compared, and the optimum tempering condition providing a combination of high strength and sufficient ductility was determined. The experimental results showed that increasing the tempering temperature resulted in significant changes in the strength and ductility properties of the material. Based on the evaluations, the optimum strength–ductility balance in terms of mechanical properties was achieved at a tempering temperature of 500 °C.
The tubes heat-treated under the optimum condition of 500 °C were subsequently subjected to threading, and the resulting bolt tubes were tested under actual tunnel application conditions. The application tests demonstrated that the fracture problem previously observed during the driving process did not occur in the bolt tubes produced under this heat treatment condition.
Keywords: 28Mn6 steel, rock bolt tubes, tempering

OTONOM SÜRÜŞÜN BENİMSENMESİ VE YAYILIMINA YÖNELİK ÖNGÖRÜLER: DELPHI VE AHP YÖNTEMLERİYLE BİR DEĞERLENDİRME

Zeynep AYLANÇ
İzmir Institute of Technology, Technology, Design and Innovation Management, 35430 Urla, İzmir
ORCID ID: 0009-0005-3151-405X
Assoc. Prof. Dr. Burak DİNDAROĞLU
İzmir Institute of Technology, Technology, Design and Innovation Management, 35430 Urla, İzmir
ORCID ID: 0000-0003-2889-3704

ÖZET
Otonom araç teknolojilerindeki ilerlemelere rağmen, bu teknolojilerin yaygın olarak benimsenmesinin zamanlaması ve benimsenmeyi etkileyen faktörlerin göreli önemi belirsizliğini korumaktadır. Teknolojik gelişmelerin yanı sıra yasal düzenlemeler, pazar koşulları ve tüketici kabulü de bu sürecin değerlendirilmesinde önem taşımaktadır. Bu çalışma, otonom sürüşün benimsenmesi ve yayılımına ilişkin zaman öngörülerini ve benimsenme sürecini etkileyen faktörlerin öncelik sırasını uzman görüşlerine dayanarak incelemeyi amaçlamaktadır. Araştırmada Delphi yöntemi ve Analitik Hiyerarşi Süreci (AHP) birlikte kullanılmıştır. İki turlu Delphi uygulamasının birinci turunu 18, ikinci turunu ise 14 katılımcı tamamlamıştır. Delphi yöntemiyle, belirli otonom sürüş ve benimsenme aşamalarının beklenen gerçekleşme zamanları ile bu öngörülere ilişkin belirsizlik değerlendirilmiştir. AHP yöntemiyle ise "Pazar ve Tüketici Kabulü", "Teknolojik Gereksinimler" ve "Yasal ve Destekleyici Çerçeve" kapsamındaki faktörlerin göreli önemleri incelenmiştir. Delphi bulguları, daha ileri düzey otonom sürüş aşamalarının daha geç gerçekleşmesinin beklendiğini ve bazı senaryolarda uzman görüşlerinin daha fazla ayrıştığını göstermiştir. Seviye 5 otonom sürüşe ilişkin bazı benimsenme senaryolarında "Asla" yanıtları da verilmiştir. AHP bulgularına göre, ana kriterler arasında "Yasal ve Destekleyici Çerçeve" en yüksek göreli öneme sahiptir. Bu kriteri sırasıyla "Pazar ve Tüketici Kabulü" ve "Teknolojik Gereksinimler" izlemiştir. Bulgular, otonom sürüşün benimsenmesi ve yayılımının teknolojik ilerlemelerle birlikte yasal ve destekleyici koşullar ile pazar ve tüketici kabulü açısından değerlendirilmesi gerektiğine işaret etmektedir. Çalışma, zamanlama öngörüleri ile faktör önceliklerini ortak bir araştırma çerçevesinde ele alarak otonom sürüşün geleceğine ilişkin uzman temelli bir değerlendirme sunmaktadır.
Anahtar kelimeler: Otonom sürüş, teknoloji benimseme, teknoloji öngörüsü, Delphi yöntemi, Analitik Hiyerarşi Süreci.

FORECASTS FOR THE ADOPTION AND DIFFUSION OF AUTONOMOUS DRIVING: AN ASSESSMENT USING DELPHI AND AHP

ABSTRACT
Despite advances in autonomous vehicle technologies, uncertainty remains regarding the timing of their widespread adoption and the relative importance of the factors shaping this process. Alongside technological developments, regulatory conditions, market dynamics, and consumer acceptance are relevant to understanding adoption. This study aims to examine forecasts for the adoption and diffusion of autonomous driving and to prioritize the factors influencing adoption based on expert judgments. The research combines the Delphi method and the Analytic Hierarchy Process (AHP). The first and second rounds of the Delphi study were completed by 18 and 14 participants, respectively. The Delphi method was used to assess the expected timing

of specific autonomous driving and adoption milestones, together with the uncertainty surrounding these forecasts. AHP was employed to evaluate the relative importance of factors within three main criteria: “Market and Consumer Acceptance,” “Technological Requirements,” and “Legal and Supporting Framework.” The Delphi findings indicated that more advanced autonomous driving milestones were generally expected to occur later, with greater divergence in expert opinions in certain scenarios. “Never” responses were also recorded for some adoption scenarios involving Level 5 autonomous driving. The AHP findings ranked “Legal and Supporting Framework” as the most important main criterion, followed by “Market and Consumer Acceptance” and “Technological Requirements.” These findings suggest that the adoption and diffusion of autonomous driving should be assessed by considering legal and supporting conditions and market and consumer acceptance alongside technological progress. By examining timing forecasts and factor priorities within a common research framework, the study provides an expert-based assessment of the future adoption and diffusion of autonomous driving.

Keywords: Autonomous driving, technology adoption, technology forecasting, Delphi method, Analytic Hierarchy Process.

5531 SAYILI KANUN ÇERÇEVESİNDE MÜHENDİSLİK YETKİ SINIRLARININ YARGI KARARLARI IŞIĞINDA ANALİZİ

Can DEMİRKESEN
İstanbul University, Faculty of Forestry, Department of Forest Industrial Engineering, İstanbulTürkiye
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-1957-3469
Dr. Öğr.Üyesi Nilay TULUKCU YILDIZBAŞ
İstanbul University, Faculty of Forestry, Department of Forest Engineering, İstanbul-Türkiye
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0003-1957-3469

ÖZET
Bu araştırmanın temel amacı, 5531 sayılı Kanun çerçevesinde Orman Endüstri Mühendisliği disiplininin fenni uzmanlık sınırlarını ve yargıdaki fiili uygulamalarını yüksek yargı kararları ışığında incelemektir. Meslek unvanlarındaki "Orman" kelimesinin oluşturduğu anlamsal karmaşa sebebiyle yerel mahkemelerin bilirkişi atamalarında düştüğü fenni hataları ve idari kurumlardaki yetki çatışmalarını saptamak çalışmanın odak noktasını oluşturmaktadır. Araştırmanın materyalini 5531 sayılı Meslek Kanunu, ilgili mevzuat hükümleri ve Yargıtay, Danıştay, Bölge Adliye Mahkemeleri ile 90 adet emsal yargı kararı oluşturmaktadır. Veriler nitel içerik analizi ve tematik sınıflandırma yaklaşımıyla değerlendirilmiştir. Yargı kararları uyuşmazlık türlerine göre mülkiyet, kadastro, eser ve satım sözleşmeleri ve kamu ihaleleri, idari düzenlemeler, yetki çatışmaları boyutlarıyla doktrinsel analize tabi tutulmuştur. Araştırmada adli yargı boyutunda orman toprağı mülkiyeti, zilyetlik ve orman kadastrosu gibi ekosistem odaklı davalarda Orman Endüstri Mühendislerinin uzman sayılamayacağı ve bu atamaların Yargıtay tarafından istisnasız bir bozma sebebi yapıldığı tespit edilmiştir. Buna karşılık Borçlar Hukuku ve Ticaret Hukuku kapsamındaki eser ve satım sözleşmelerinde; ahşabın higroskopik yapısından kaynaklanan deformasyonlar, kurutma/fırınlama hataları, kompozit levhalardaki presleme kusurları, yüzey işlemleri ile dış mekân (deck) ahşap imalat ayıplarının tespitinde mutlak ve yetkili fenni uzman disiplinin Orman Endüstri Mühendisliği olduğu görülmüştür. İdari yargıda ise kamu ihaleleri ve idari düzenlemelerde tek bir disipline inhisari yetki veren kısıtlamaların Danıştay tarafından rekabet ve eşitlik ilkeleri gereğince iptal edildiği saptanmıştır. Sonuç olarak, adil yargılanma hakkı ve fenni doğruluğun sağlanması amacıyla bilirkişi sisteminde alt uzmanlık alanlarının ayrıştırılması ve uyuşmazlığa konu durumlarda çok disiplinli bilirkişi heyetlerinin görevlendirilmesi önerilmektedir.
Anahtar kelimeler: Orman endüstrisi, 5531 sayılı Kanun, bilirkişilik, mesleki yetki çatışması, ormancılıkta yargı kararları.

AN ANALYSIS OF ENGINEERING AUTHORITY BOUNDARIES UNDER LAW NO. 5531 IN THE LIGHT OF JUDICIAL DECISIONS

ABSTRACT
The main purpose of this research is to analyze the technical expertise boundaries and practical applications of the Forest Industrial Engineering discipline in civil and administrative judiciary within the framework of Law No. 5531. The focus of the study is to identify technical errors made by local courts in appointing expert witnesses and jurisdictional conflicts in administrative institutions caused by semantic confusion surrounding the shared term "Forest" in professional titles. The material of the study consists of Professional Law No. 5531, relevant legislative provisions, and a total of 90 landmark judicial decisions from the Court of Cassation,

the Council of State, Regional Courts of Appeal, and the Constitutional Court. In analyzing the data, qualitative content analysis and thematic classification approaches were employed. Judicial decisions were subjected to doctrinal analysis categorized by dispute types in terms of civil judiciary (property, cadastre, contracts of work and sale) and administrative judiciary (public tenders, administrative regulations, jurisdictional conflicts). The findings revealed that in the civil judiciary, Forest Industrial Engineers cannot be considered experts in ecosystem-based disputes such as forest land ownership, adverse possession, and forest cadastre, and such appointments are consistently overturned by the Court of Cassation. Conversely, in contracts of work and sale under the Law of Obligations and Commercial Law, Forest Industrial Engineering was identified as the sole and competent technical discipline in determining manufacturing defects such as hygroscopic wood deformations, drying/kiln errors, pressing flaws in composite panels, surface treatments, and outdoor (deck) wood applications. In the administrative judiciary, restrictive practices granting exclusive authority to a single discipline in public tenders and administrative regulations were found to be annulled by the Council of State pursuant to the principles of competition and equal treatment. Consequently, to ensure fair trial rights and technical accuracy, it is recommended to refine sub-expertise codes in the UYAP expert appointment system and assign multidisciplinary expert panels in complex litigation.

Keywords: Forest industrial engineering, Law No. 5531, expert witness, professional jurisdictional conflict, analysis of judicial decisions.

THE MULTI-LAYERED CULTURAL HERITAGE OF KALECİK VİLLAGE: TRADITIONAL ARCHITECTURE, ARCHAEOLOGICAL TRACES, AND CONSERVATION ISSUES

M.A. Beste Taş
Graduate School, Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Türkiye,
ORCID: 0009-0005-2320-9936
Assoc. Prof. Nur Umar
Faculty of Architecture and Design, Adana Alparslan Türkeş Science and Technology University, Türkiye,
ORCID: 0000-0003-0296-3671

Abstract

Kalecik is located in Nusaybin District of Mardin Province, in a geographical context associated with the Çağ Çağ Valley and the Tur Abdin region. The Nusaybin area has been an important route and settlement zone since very early periods. In particular, the Çağ Çağ Valley served as one of the transportation connections between Mesopotamia and Tur Abdin, and archaeological elements belonging to different periods, including rock-cut tombs, castle and garrison-like structures, hillside settlements, and remains of ancient routes, have been identified throughout the valley. According to assessments concerning the archaeological history of Kalecik, it has been suggested that the establishment of the settlement may date back as far as the 7th millennium BC. However, no comprehensive scientific research or systematic archaeological excavation has yet been conducted in Kalecik. The dense presence of pottery fragments observed around the settlement has been interpreted as an indication that the area may have been used during the Neolithic or Chalcolithic periods. The rock-cut tombs identified in the vicinity of the village, on the other hand, suggest that the settlement was also inhabited or used during later periods, particularly the Roman period. The more recent settlement history of Kalecik has been associated with the settlement of Syriac and Kurdish communities in the region. Within this framework, Kalecik can be understood as a multi-period settlement containing archaeological and cultural layers belonging to different historical periods (Coşkunsu, n.d.). Statements by local residents of Kalecik indicate that living within a historic settlement and its conservation status may create various challenges in terms of everyday life and the physical sustainability of buildings. Although residents state that living in a historic settlement is valuable to them, they also report difficulties in carrying out necessary repair and maintenance works on their houses due to their location within a protected site. This situation particularly contributes to delays in the maintenance of existing buildings and leaves some houses vulnerable to physical deterioration and collapse (Aslan, n.d.). These circumstances point to potential implementation-related problems that may arise between conservation legislation and the everyday needs of the local population. On the other hand, population decline, building abandonment, inadequate maintenance and repair processes, and the weakening continuity of traditional construction knowledge can be considered among the principal factors exerting pressure on the physical integrity of the architectural heritage. Existing documentation studies on Kalecik also draw attention to the gradual physical deterioration of the settlement due to population loss and lack of maintenance, emphasizing the need to document both tangible and intangible cultural heritage elements.

Within this context, the present study will examine the settlement of Kalecik through the relationships among traditional residential architecture, locally available stone materials and construction techniques, the spatial and formal characteristics of buildings, the street and plot

pattern, rock-cut tombs, castle and defensive remains, and other archaeological elements. In addition, the study will investigate the current physical condition of traditional buildings, forms of deterioration, abandonment and loss of use, maintenance and repair problems, new construction and incompatible interventions, as well as the effects of protected-site status on property owners and local residents. Accordingly, the study aims to reveal the cultural heritage values of Kalecik not only from historical and archaeological perspectives but also in relation to contemporary patterns of use, conservation challenges, and sustainability issues.
Keywords: *Kalecik Village, Mardin, Traditional Architecture, Rural Heritage.*

KALECİK KÖYÜ'NÜN ÇOK KATMANLI KÜLTÜREL MİRASI: GELENEKSEL MİMARİ, ARKEOLOJİK İZLER VE KORUMA SORUNLARI

Kalecik, Mardin'in Nusaybin ilçesinde, Çağ Çağ Vadisi ve Tur Abdin bölgesiyle ilişkili bir konumda yer almaktadır. Nusaybin çevresinin çok erken dönemlerden itibaren önemli bir geçiş ve yerleşim alanı olduğu bilinmektedir. Özellikle Çağ Çağ Vadisi, Mezopotamya ile Tur Abdin arasındaki ulaşım bağlantılarından biri olmuş; vadide kaya mezarları, kale ve karakol niteliğindeki yapılar, yamaç yerleşimleri ve antik yol kalıntıları gibi farklı dönemlere ait arkeolojik unsurlar tespit edilmiştir. Kalecik yerleşiminin arkeolojik geçmişine ilişkin yapılan değerlendirmelerde, yerleşimin kuruluşunun yaklaşık MÖ 7. binyıla kadar uzanabileceği ileri sürülmektedir. Bununla birlikte, Kalecik'te henüz kapsamlı bir bilimsel araştırma veya sistematik arkeolojik kazı çalışmasının gerçekleştirilmediği bilinmektedir. Yerleşim çevresinde yoğun olarak gözlemlenen çanak çömlek buluntularının, alanın Neolitik veya Kalkolitik dönemlerde kullanılmış olabileceğine işaret ettiği; köy çevresinde tespit edilen kaya mezarlarının ise yerleşimin daha sonraki dönemlerde, özellikle Roma döneminde de iskân veya kullanım gördüğünü düşündürdüğü ifade edilmektedir. Kalecik'in yakın dönem yerleşim tarihi ise Süryani ve Kürt topluluklarının bölgedeki iskânıyla ilişkilendirilmektedir. Bu değerlendirmeler doğrultusunda Kalecik'in, farklı dönemlere ait arkeolojik ve kültürel katmanları bünyesinde barındıran çok dönemli bir yerleşim niteliği taşıdığı anlaşılmaktadır (Coşkunsu, t.y.). Kalecik'te yaşayan yerel halkın ifadeleri ise; tarihi yerleşimde koruma statüsünün gündelik yaşam ve yapıların fiziksel sürdürülebilirliği açısından çeşitli sorunlar oluşturabildiğini göstermektedir. Köy sakinleri tarihi bir yerleşimde yaşamanın kendileri açısından değerli olduğunu belirtmekle birlikte, sit alanı içerisinde bulunmaları nedeniyle konutlarda gerekli onarım ve bakım çalışmalarını gerçekleştirmekte güçlük yaşadıklarını ifade etmiştir. Bu durum, özellikle mevcut yapıların bakımının gecikmesine ve bazı konutların fiziksel bozulma ile yıkılma riskiyle karşı karşıya kalmasına neden olmaktadır (Aslan, t.y.). Bu durum, koruma mevzuatı ile yerel halkın gündelik yaşam gereksinimleri arasında ortaya çıkabilecek uygulama sorunlarına işaret etmektedir. Diğer taraftan, yerleşimdeki nüfus kaybı, yapıların kullanılmaması, bakım ve onarım süreçlerinin aksaması ve geleneksel yapım bilgisinin sürekliliğinin zayıflaması, mimari mirasın fiziksel bütünlüğü üzerinde baskı oluşturan temel unsurlar arasında değerlendirilebilir. Kalecik üzerine yapılan mevcut belgeleme çalışmaları da yerleşimin nüfus kaybı ve bakımsızlık nedeniyle giderek fiziksel olarak yıprandığına ve somut ve somut olmayan kültürel miras unsurlarının belgelenmesine ihtiyaç bulunduğuna dikkat çekmektedir. Bu bağlamda çalışma kapsamında Kalecik yerleşimi; geleneksel konut mimarisi, yerel taş malzeme ve yapım teknikleri, yapıların mekânsal ve biçimsel özellikleri, sokak ve parsel dokusu, kaya mezarları, kale ve savunma kalıntıları ile diğer arkeolojik unsurlar arasındaki ilişkiler üzerinden değerlendirilecektir. Bunun yanı sıra, geleneksel yapıların mevcut fiziksel durumları, bozulma biçimleri, terk edilme ve kullanım

kaybı, bakım-onarım sorunları, yeni yapılaşma ve uyumsuz müdahaleler ile sit statüsünün yapı sahipleri ve yerel halk üzerindeki etkileri incelenecektir. Böylece Kalecik'in kültürel miras değerlerinin yalnızca tarihsel ve arkeolojik boyutuyla değil, güncel kullanım, koruma ve sürdürülebilirlik sorunlarıyla birlikte ortaya konulması amaçlanmaktadır.
Anahtar Kelimeler: *Kalecik Köyü, Mardin, Geleneksel Mimari, Kırsal Miras*

İHRACAT FAZLASINA RAĞMEN İTHALAT: TÜRK MOBİLYA SEKTÖRÜ ÖRNEĞİ

Doç. Dr. Yener TOP
Gümüşhane Üniversitesi, Gümüşhane Meslek Yüksekokulu, Tasarım Bölümü, Gümüşhane
ORCID ID: 0000-0001-5412-527X

ÖZET
Mobilya sektörü, imalat sektörü içinde faaliyet gösteren 24 alt sektörden biridir. Sektörde faaliyet gösteren işletmelerin % 99.9'u Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletme (KOBİ), geri kalan ise büyük ölçekli işletmelerden oluşmaktadır. İstihdam olarak imalat sektörünün % 4.85'ini oluşturur. Sektörün önemli olduğu bir diğer yanı da ülkemiz dış ticaret açığının kapatılmasında oynadığı roldür. Ülkemiz toplam ihracatı 2001 yılından 2025 yılına yaklaşık 8 kat; ithalatı 8.2 kat artmış ve dış ticaret açığı yaklaşık 95 milyar dolar (2025 yılı) olmuştur. Aynı dönem için mobilya sektörü ihracatı, 0.192 milyar dolardan 3.969 milyar dolara (21 kat artış); ithalat 0.109 milyar dolardan 0.958 milyar dolara (8.7 kat) artmıştır. Bu nedenle dış ticaret açığının kapanmasında önemlidir. Mobilya sektörü "Uluslararası Standart Ticaret Sınıflaması, Revizyon 4"ün "oturmaya mahsus mobilyalar vb. aksam-parçaları" (8211), "somyalar, yataklar, uyku tulumları vs." (8212), "yazıhanelerde kullanılan türde metal mobilyalar" (8213), yazıhane, mutfak, yatak odalarında kullanılan türde ağaç mobilyalar (8215) ve "diğer mobilyalara ait aksam-parçalar" (8218) grupları ihracat toplamı, Türkiye ihracatının % 1.6'sını ve ithalat toplamının ise % 0.3'ünü oluşturur. Bu çalışmanın amacı, "mobilya sektörü dış ticaret fazlası veren bir sektör olmasına karşın, neden yaklaşık 1 milyar dolarlık ithalat yapmaktadır? İthalat yapılan mobilya grup/grupları nelerdir ve hangi ülkelerden ithalat yapılmaktadır?" sorularına cevap aramaktır. Çalışmada yıllık değişim oranları, dış ticaret dengesi ve ihracatın ithalatı karşılama oranı hesaplanmıştır. Hesaplamalarda kullanılan 2001-2025 dönemi verileri, Türkiye İstatistik Kurumu tarafından paylaşılan kamuya açık ikincil verilerdir. Mobilya sektörünce yapılan ithalatın sektörün yetersizliğinden kaynaklanmadığı, yapılan ithalatın çoğunluğunun belirli ülkelerden oluşturduğu, ithalat birim değerlerinin ihracat birim değerinden yüksek olduğu ve kalite algısı, malzeme, tasarım gibi etkenler nedeni ile ihraç fazlası sektörlerde iki yönlü ticaretin görüldüğü gibi sonuçlara ulaşılmıştır.
Anahtar kelimeler: Türk Mobilya Sektörü, ihracat, ithalat, mobilya

IMPORTS DESPITE EXPORT SURPLUS: A STUDY OF THE TÜRKIYE FURNITURE SECTOR

ABSTRACT
The furniture sector is one of the 24 sub-sectors operating within the manufacturing industry. Small and Medium-sized Enterprises (SMEs) account for 99.9% of the businesses operating in the sector, while the remainder consists of large-scale enterprises. In terms of employment, it represents 4.85% of the manufacturing sector. Another significant aspect of the sector is the role it plays in narrowing the country's foreign trade deficit. Between 2001 and 2025, the country's total exports increased approximately eightfold and imports 8.2-fold, resulting in a foreign trade deficit of approximately 95 billion dollars (as of 2025). During the same period, furniture sector exports rose from 0.192 billion dollars to 3.969 billion dollars (a 21-fold increase), while imports increased from 0.109 billion dollars to 0.958 billion dollars (an 8.7-fold increase). Consequently, the sector is important for reducing the foreign trade deficit. The total exports of the furniture sector-comprising the "Standard International Trade Classification, Revision 4" groups of "seats and parts thereof" (8211), "mattress supports, mattresses, sleeping

bags, etc." (8212), "metal furniture of the kind used in offices" (8213), "wooden furniture of the kind used in offices, kitchens, and bedrooms" (8215), and "parts of other furniture" (8218)-account for 1.6% of Turkey's total exports and 0.3% of its total imports. The aim of this study is to answer the following questions: "Despite the furniture sector running a foreign trade surplus, why does it import approximately $1 billion worth of goods? Which furniture product groups are imported, and from which countries?" The study calculates annual rates of change, the foreign trade balance, and the export-to-import coverage ratio. The data used for the 2001-2025 period consist of publicly available secondary data provided by the Turkish Statistical Institute. The study concludes that imports in the furniture sector do not stem from sectorial inadequacy; that the majority of imports originate from specific countries; that import unit values exceed export unit values; and that two-way trade occurs in sectors with export surpluses due to factors such as quality perception, materials, and design.
Keywords: Turkish furniture sector, exports, imports, furniture

TÜBİTAK 4008 "ÖZEL EĞİTİM ÖĞRETMEN ADAYLARININ STEAM TEMELLİ KEŞİF VE TASARIM SERÜVENİ" PROJESİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ [3]

Doç. Dr. Yılmaz SARIER
Odunpazarı District Directorate of National Education, Project Specialist, Odunpazarı, Eskişehir
ORCID ID: 0000-0002-9245-6026
Prof. Dr. Ersin KARADEMİR
Eskişehir Osmangazi University, Faculty of Education, Science Education, Odunpazarı, Eskişehir
ORCID ID: 0000-0002-8519-622X
Prof. Dr. Suzan Duygu ERİŞTİ
Anadolu Osmangazi University, Faculty of Education, Art Education, Tepebaşı, Eskişehir
ORCID ID: 0000-0002-2511-6830
Özel Eğitim Uzmanı Uğur BOZKURT
Odunpazarı District Directorate of National Education, Special Education Specialist, Odunpazarı, Eskişehir
ORCID ID: 0000-0001-9816-0325
Şengül ŞEBER
Odunpazarı District Directorate of National Education, Project Specialist, Odunpazarı, Eskişehir
ORCID ID: 0009-0000-2869-1104
Semih ESENDEMİR
Emine Emir Şahbaz Science and Art Center, Science Teacher, Odunpazarı, Eskişehir
ORCID ID: 0000-0003-3657-034X

ÖZET

Bu bildiride, Odunpazarı İlçe Milli Eğitim Müdürlüğü yürütücülüğünde; Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Anadolu Üniversitesi ve Emine Emir Şahbaz Bilim ve Sanat Merkezi iş birliğiyle gerçekleştirilen özel eğitimde STEAM uygulamaları odaklı projenin verilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Çalışma kapsamında, özel eğitim öğretmen adaylarının STEAM (Bilim, Teknoloji, Mühendislik, Sanat ve Matematik) ile tasarım temelli öğrenme yaklaşımlarını hem kuramsal hem de uygulamalı düzeyde içselleştirmeleri ve farklı engel gruplarına yönelik kapsayıcı, erişilebilir ve sürdürülebilir öğrenme ortamları tasarlama becerilerini en üst düzeye çıkarmaları hedeflenmektedir. Mesleki farkındalık ve pedagojik becerilerin henüz biçimlenme aşamasında olduğu lisans eğitimi sürecinde, öğretmen adaylarının disiplinler arası bir bakış açısı kazanmaları, gelecekte görev yapacakları eğitim kurumlarında özel gereksinimli bireylerin bireysel farklılıklarına uygun, yaratıcı, esnek ve etkili çözümler üretebilmelerine imkân tanıyacaktır. Projenin hedef kitlesini, Anadolu Üniversitesi ve Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Özel Eğitim Bölümlerinde öğrenim gören, demografik denge, akademik ilgi ve uygulama kapasitesi gibi kriterler doğrultusunda seçilmiş yenilikçi yaklaşımlara açık 16 öğretmen adayı oluşturmaktadır. Beş günlük eğitim sürecinde her gün sırasıyla Kapsayıcı STEAM (Kapa-STEAM), Astronomi ve STEAM (Astro-STEAM), Doğa ve STEAM (Yeşil-STEAM), Teknoloji ve STEAM (Tekno-STEAM) ile Sanat ve STEAM

[3] Bu çalışmada, TÜBİTAK 4008 Özel Gereksinimli Bireylere Yönelik Kapsayıcı Toplum Uygulamaları Destekleme Programı'nın 2025/1 çağrı döneminde 325B471 proje numarasıyla desteklenen "Özel Eğitim Öğretmen Adaylarının STEAM Temelli Keşif ve Tasarım Serüveni" isimli projenin verileri kullanılmıştır.

(Sana-STEAM) şeklinde temalandırılmıştır. Bu süreçte tasarım odaklı düşünme, proje tabanlı öğrenme, yapay zekâ destekli öğretim araçları ve teknoloji entegrasyonu odaklı bütüncül bir metodoloji uygulanarak katılımcılara her dört kişiye bir rehber öğretmen düşecek şekilde mentorluk sağlanmıştır. Proje verilerinin nitel ve nicel değerlendirmeleri, katılımcıların eleştirel düşünme, iş birliği ve özgün materyal geliştirme becerilerinin belirgin şekilde güçlendiğini ve özel eğitim sahasına teknoloji odaklı çözümler kazandırıldığını göstermektedir. TÜBİTAK 4008 çağrı hedefleriyle tam bir uyum içerisinde yürütülen bu çalışma, özel eğitim alanında nitelikli insan kaynağı gelişimine doğrudan katkı sunarak özel eğitimde dijital ve pedagojik dönüşüme öncülük eden özgün, sürdürülebilir ve yaygınlaştırılabilir bir uygulama modeli ortaya koymaktadır.
Anahtar kelimeler: Özel Eğitim, STEAM Eğitimi, Kapsayıcı Eğitim, Proje Tabanlı Öğrenme, Teknoloji Entegrasyonu

EVALUATION OF THE TÜBİTAK 4008 PROJECT "STEAM-BASED DISCOVERY AND DESIGN ADVENTURE OF PRE-SERVICE SPECIAL EDUCATION TEACHERS"

ABSTRACT

This study aims to evaluate the data of the project focused on STEAM applications in special education, carried out under the leadership of the Odunpazarı District Directorate of National Education, in collaboration with Eskişehir Osmangazi University, Anadolu University, and the Emine Emir Şahbaz Science and Art Center. Within the scope of the study, it is intended to enable pre-service special education teachers to internalize STEAM (Science, Technology, Engineering, Arts, and Mathematics) and design-based learning approaches at both theoretical and practical levels, thereby maximizing their competencies in designing inclusive, accessible, and sustainable learning environments tailored for various disability groups. Gaining an interdisciplinary perspective during undergraduate education a period when professional awareness and pedagogical skills are actively taking shape will enable pre-service teachers to produce creative, flexible, and effective solutions aligned with the individual differences of students with special needs in their future educational institutions. The target population of the project consists of 16 highly motivated pre-service teachers enrolled in the Special Education Departments of Anadolu University and Eskişehir Osmangazi University, selected based on criteria such as demographic balance, academic interest, and practical implementation capacity. The five-day training program is structured around daily themes: Inclusive STEAM (Inklu-STEAM), Astronomy and STEAM (Astro-STEAM), Nature and STEAM (Green-STEAM), Technology and STEAM (Techno-STEAM), and Arts and STEAM (Art-STEAM). Throughout the implementation, a comprehensive methodology encompassing design thinking, project-based learning, artificial intelligence-supported instructional tools, and technology integration is adopted, supported by mentorship with one guiding teacher assigned to every eight participants. Qualitative and quantitative evaluations of the project data demonstrate that the participants' critical thinking, collaboration, and original material development skills were significantly enhanced, thereby introducing technology-driven and inclusive solutions to the field of special education. Executed in full alignment with the objectives of the TÜBİTAK 4008 call, this initiative directly contributes to the development of qualified human resources in special education and presents an original, sustainable, and scalable implementation model that leads the digital and pedagogical transformation in special education.
Keywords: Special Education, STEAM Education, Inclusive Education, Project-Based earning, Technology Integration

TERNARY METAL OXIDE/G-C_3N_4/CHALCOGENIDE HETEROJUNCTIONS FOR VISIBLE-LIGHT-DRIVEN PHOTOCATALYTIC HYDROGEN EVOLUTION: INTERFACIAL ENGINEERING AND CHARGE-TRANSFER MECHANISMS

Öğr. Gör. Dr. Fahriye SARI
Huglu Vocational School, Selcuk University, 42710, Konya
ORCID: 0000-0002-1404-0631

ABSTRACT
The development of efficient photocatalysts for solar-driven hydrogen production has intensified interest in graphitic carbon nitride (g-C_3N_4), a metal-free semiconductor with visible-light responsiveness, suitable band structure, chemical stability, and facile synthesis. However, its photocatalytic performance is limited by rapid charge recombination, restricted light utilization, and sluggish surface reaction kinetics. Ternary heterojunction engineering offers an effective strategy to overcome these limitations by integrating g-C_3N_4 with metal oxides and chalcogenide semiconductors. This review examines the design principles of metal oxide/g-C_3N_4/chalcogenide ternary heterostructures for visible-light-driven hydrogen evolution, with emphasis on band alignment, Fermi-level equilibration, band bending, built-in electric fields, and interfacial charge-transfer dynamics. Type-II, Z-scheme, and S-scheme mechanisms are comparatively discussed together with the experimental approaches required for their reliable identification. Key challenges, including photocorrosion, interfacial instability, reproducibility, and scalable synthesis, are also evaluated. Overall, rational control of interfacial electronic interactions is essential for developing efficient, stable, and practically viable ternary photocatalysts for solar hydrogen production.
Keywords: g-C_3N_4; ternary heterojunction; metal oxide; chalcogenide; photocatalytic hydrogen evolution; S-scheme; Z-scheme; interfacial charge transfer

GÖRÜNÜR IŞIKLA UYARILAN FOTOKATALİTİK HİDROJEN ÜRETİMİ İÇİN ÜÇLÜ METAL OKSİT/G-C_3N_4/KALKOJENİT HETEROEKLEMLERİ: ARAYÜZ MÜHENDİSLİĞİ VE YÜK TRANSFER MEKANİZMALARI

ÖZET
Güneş enerjisiyle hidrojen üretimine yönelik verimli fotokatalizörlerin geliştirilmesi, görünür ışığa duyarlılığı, uygun bant yapısı, kimyasal kararlılığı ve kolay sentezlenebilirliği nedeniyle grafitik karbon nitrüre (g-C_3N_4) olan ilgiyi artırmıştır. Bununla birlikte, hızlı yük taşıyıcı rekombinasyonu, sınırlı ışık kullanımı ve yavaş yüzey reaksiyon kinetiği g-C_3N_4'ün fotokatalitik performansını sınırlandırmaktadır. Üçlü heteroeklem mühendisliği, g-C_3N_4'ün metal oksitler ve kalkojenit yarı iletkenlerle birleştirilmesi yoluyla bu sınırlamaların aşılmasına yönelik etkili bir yaklaşım sunmaktadır. Bu derleme, görünür ışık altında fotokatalitik hidrojen üretimi için metal oksit/g-C_3N_4/kalkojenit üçlü heteroyapılarının temel tasarım prensiplerini; bant hizalanması, Fermi seviyesi dengelenmesi, bant bükülmesi, yerleşik elektrik alan ve arayüzeysel yük transfer dinamikleri açısından değerlendirmektedir. Type-II, Z-scheme ve S-scheme yük transfer mekanizmaları karşılaştırmalı olarak ele alınmakta ve bu mekanizmaların güvenilir biçimde belirlenmesinde kullanılan deneysel yöntemler tartışılmaktadır. Ayrıca fotokorozyon, arayüzey kararsızlığı, tekrarlanabilirlik ve ölçeklenebilir sentez gibi temel

sorunlar değerlendirilmektedir. Sonuç olarak, arayüzeysel elektronik etkileşimlerin rasyonel olarak kontrol edilmesi, yüksek verimli, kararlı ve uygulanabilir üçlü fotokatalizörlerin geliştirilmesinde kritik bir unsur olarak öne çıkmaktadır.

Anahtar Kelimeler: g-C_3N_4; üçlü heteroeklem; metal oksit; kalkojenit; fotokatalitik hidrojen üretimi; S-şeması; Z-şeması; arayüzey yük transferi.

COMPOSITION ENGINEERING OF MULTIMETALLIC CHALCOGENIDE ELECTRODES FOR ADVANCED HYBRID SUPERCAPACITORS

Öğr. Gör. Dr. Fahriye SARI
Huglu Vocational School, Selcuk University, 42710, Konya
ORCID: 0000-0002-1404-0631

ABSTRACT
The development of advanced hybrid supercapacitors requires electrode materials with favorable electrochemical activity, efficient charge transport, and long-term cycling stability. Multimetallic chalcogenides have attracted considerable attention as potential electrode materials owing to their tunable chemical compositions, diverse electronic structures, and multiple redox-active sites. In particular, composition engineering provides an effective strategy for regulating the structural and electrochemical properties of these materials. This study presents a literature-based comparative analysis of multimetallic chalcogenide electrodes, focusing on the relationship between metal cation composition, charge-storage mechanisms, and electrochemical performance. Representative ternary and quaternary sulfides, including $NiCo_2S_4$, $CuCo_2S_4$, Cu_2NiSnS_4, Cu_2CoSnS_4, and Cu_2MnSnS_4, are considered in terms of their structural characteristics, specific capacity or capacitance, rate capability, and cycling stability. Particular attention is given to distinguishing composition-dependent effects from morphological and device-related contributions. By critically evaluating reported electrochemical results under different experimental conditions, this study aims to identify key material-design considerations and remaining challenges for the development of multimetallic chalcogenide-based hybrid supercapacitors.
Keywords: Multimetallic chalcogenides; Composition engineering; Hybrid supercapacitors; Electrochemical energy storage; Charge-storage mechanisms.

İLERİ HİBRİT SÜPERKAPASİTÖRLER İÇİN ÇOK METALLİ KALKOJENİT ELEKTROTLARIN KOMPOZİSYON MÜHENDİSLİĞİ

ÖZET
İleri hibrit süperkapasitörlerin geliştirilmesi, yüksek elektrokimyasal aktiviteye, etkin yük taşınımına ve uzun süreli çevrim kararlılığına sahip elektrot malzemelerinin kullanımını gerektirmektedir. Çok metalli kalkojenitler, ayarlanabilir kimyasal bileşimleri, farklı elektronik yapıları ve çoklu redoks aktif merkezleri sayesinde potansiyel elektrot malzemeleri olarak önemli ilgi görmektedir. Özellikle kompozisyon mühendisliği, bu malzemelerin yapısal ve elektrokimyasal özelliklerinin düzenlenmesinde etkili bir strateji sunmaktadır. Bu çalışmada, metal katyon bileşimi, yük depolama mekanizmaları ve elektrokimyasal performans arasındaki ilişkiye odaklanılarak çok metalli kalkojenit elektrotların literatüre dayalı karşılaştırmalı bir analizi sunulmaktadır. $NiCo_2S_4$, $CuCo_2S_4$, Cu_2NiSnS_4, Cu_2CoSnS_4 ve Cu_2MnSnS_4 gibi üçlü ve dörtlü sülfürler; yapısal özellikleri, özgül kapasiteleri veya kapasitansları, hız performansları ve çevrim kararlılıkları açısından değerlendirilmektedir. Bileşime bağlı etkilerin morfolojik ve cihaz konfigürasyonundan kaynaklanan katkılardan ayırt edilmesine özellikle önem verilmektedir. Farklı deneysel koşullar altında rapor edilen elektrokimyasal sonuçların eleştirel bir yaklaşımla değerlendirilmesiyle, çok metalli kalkojenit esaslı hibrit süperkapasitörlerin geliştirilmesine yönelik temel malzeme tasarım kriterlerinin ve mevcut zorlukların belirlenmesi amaçlanmaktadır.
Anahtar Kelimeler: Çok metalli kalkojenitler; Kompozisyon mühendisliği; Hibrit süperkapasitörler; Elektrokimyasal enerji depolama; Yük depolama mekanizmaları.

BİÇİM BİLİMSEL ANALİZ, BİRLEŞTİRME TABANLI AYRIŞTIRMA VE İLİŞKİ FİLTRELERİ KULLANILARAK TÜRKÇE METİNLERDEN İLİŞKİ ÇIKARIMI

Assist. Prof. Dr. Hayri Volkan Agun
Bursa Technical University, Faculty of Natural Sciences and Engineering, Department of Computer Engineering, 16310 Yıldırım, Bursa
ORCID ID: 0000-0002-4253-8920

ÖZET
Morfolojik açıdan zengin dillerde ilişki çıkarımı, yalnızca sözcük sırasını değil, çekim yoluyla ifade edilen dilbilgisel bilgiyi de dikkate almalıdır. Bu çalışma, sınırlanmamış Türkçe metinleri yönlü anlamsal üçlülere dönüştüren şeffaf ve sembolik bir sistemin ilişki çıkarımı aşamasını sunmaktadır. İşlem hattı; cümle düzeyinde morfolojik analiz ve anlam belirsizliği giderme, özellik birleştirmeye (feature unification) dayalı aşağıdan yukarıya bir ayrıştırıcı ve yerel ayrıştırma ağacı yapılandırmalarına uygulanan bildirimsel ilişki filtrelerini bir araya getirmektedir. Bu ayrım sayesinde, sözdizimi ile ilişki etiketleme süreçleri birbirinden bağımsız olarak güncellenebilirken, her bir tahmin ilgili morfolojik analize, dilbilgisi kuralına ve anlamsal filtreye kadar izlenebilmektedir. Bu çalışmada, elle oluşturulmuş 150 Türkçe cümleden meydana gelen genişletilmiş bir tanısal veri kümesi olan WM-TR-150'yi sunuyoruz. Veri kümesi; sıfat tamlaması, ilgi/genitif sahiplik, geçişsiz eylem, ek-fiil/kopula özelliği, konumsal eylem, edilgen yapı ve durum/tarz olmak üzere yedi olgunun her biri için etiketlenmiş 20 cümle içermektedir. Buna ek olarak 10 cümle negatif kontrol örneği olarak kullanılmaktadır. Veri kümesi toplam 145 altın standart üçlü içermekte ve önceki 50 örneği sabit bir yeniden üretilebilirlik alt kümesi olarak korumaktadır. İlişki etiketlerinin ve kök biçimine indirgenmiş argümanların tam eşleşmesine dayalı değerlendirmede, herhangi bir değişiklik yapılmamış ilişki çıkarıcı 53 doğru pozitif, 233 yanlış pozitif ve 92 yanlış negatif üretmiştir. Buna karşılık mikro-kesinlik %18,53, mikro-duyarlılık %36,55 ve mikro-F1 değeri %24,59 olarak elde edilmiştir. Cümle düzeyindeki tam eşleşme doğruluğu %8,67'dir. Orijinal alt kümede %31,11 F1 değeri yeniden elde edilirken, yeni eklenen 100 örnekte %21,62 F1 değeri elde edilmiştir. Bu sonuç, genişletilmiş değerlendirmenin sistem performansına ilişkin daha zorlayıcı ve gerçekçi bir tahmin sunduğunu göstermektedir. Genitif sahiplik ilişkisi %60,61 F1 değeri ile en başarılı ilişki türü olmaya devam ederken, konumsal ilişkilerde elde edilen yüksek duyarlılık aşırı üretim nedeniyle dengelenmektedir. Geçişsiz, kopula, edilgen ve durum/tarz ilişkilerinde elde edilen sıfır skorları; eksik cümlecik yapıları, argümanların ters eşleştirilmesi ve zarflar ile çatı özelliklerine duyarlı filtrelemenin yetersizliğini ortaya koymaktadır. Bu nedenle genişletilmiş karşılaştırma veri kümesi, dilbilgisi kurallarının ve ilişki filtrelerinin hedefe yönelik olarak geliştirilmesi için yeniden üretilebilir bir temel sağlamaktadır.
Anahtar kelimeler: Türkçe ilişki çıkarımı, kural tabanlı sistemler, morfolojik analiz, özellik birleştirmeye dayalı sözdizimsel ayrıştırma

RELATION EXTRACTION FROM TURKISH TEXT USING MORPHOLOGICAL ANALYSIS, UNIFICATION-BASED PARSING, AND RELATION FILTERS

ABSTRACT
Relation extraction for morphologically rich languages must account for grammatical information expressed through inflection as well as word order. This paper presents the relation-extraction stage of a transparent symbolic system that converts unrestricted Turkish text into

directed semantic triples. The pipeline combines sentence-level morphological analysis and disambiguation, a bottom-up chart parser with feature unification, and declarative relation filters applied to local parse-tree configurations. This separation makes every prediction traceable to a morphological analysis, grammar rule, and semantic filter while allowing syntax and relation labeling to be revised independently. We introduce WM-TR-150, an expanded diagnostic dataset of 150 manually authored Turkish sentences. It contains 20 labeled sentences for each of seven phenomena: adjective modification, genitive possession, intransitive action, copular property, locative action, passive construction, and manner. Ten additional sentences serve as negative controls. The dataset contains 145 gold triples and retains the original 50 examples as a fixed reproducibility subset. Under exact matching of relation labels and lemmatized arguments, the unchanged extractor produces 53 true positives, 233 false positives, and 92 false negatives, yielding 18.53% micro-precision, 36.55% micro-recall, and 24.59% micro-F1. Sentence-level exact-match accuracy is 8.67%. The original subset reproduces 31.11% F1, whereas the 100 new examples obtain 21.62% F1, showing that the expanded evaluation provides a more demanding estimate. Genitive possession remains strongest at 60.61% F1, while high locative recall is offset by overgeneration. Zero scores for intransitive, copular, passive, and manner relations expose missing clause structures, argument reversal, and insufficient adverbial and voice-sensitive filtering. The expanded benchmark therefore supplies a reproducible basis for targeted grammar and filter improvements.

Keywords: Turkish relation extraction, rule-based systems, morphological analysis, unification-based parsing.

KIRSAL VE KENTSEL BÖLGEDEKİ İLERİ EVRE DEMANS HASTALARINDA PALYATİF HEMŞİRELİK BAKIMI: HİZMETE ERİŞİM ENGELLERİ VE HEMŞİRELİK YAKLAŞIMLARI

Seda Güney
Koç Üniversitesi Hemşirelik Fakültesi, İstanbul, Türkiye
ORCID: 0000-0003-3704-0498

ÖZET

Amaç: Bu derlemenin amacı, kırsal ve kentsel bölgelerde ileri evre demans hastalarına sunulan palyatif sağlık hizmetlerine erişimdeki engelleri belirleyerek bütüncül hemşirelik yaklaşımları doğrultusunda çözüm önerileri sunmaktır.

Gereç ve Yöntem: Bu çalışma, ileri evre demans hastalarında kırsal ve kentsel bölgelerde bakım hizmetlerine erişim engellerini ve hemşirelik yaklaşımlarını inceleyen literatür verileri doğrultusunda hazırlanmış geleneksel bir derlemedir.

Bulgular: Literatür verileri doğrultusunda yapılan incelemede, kentsel alanlarda palyatif bakım ünitelerine ve uzman hemşirelik hizmetlerine erişim nispeten yüksek olmasına rağmen; bakımın sürekliliğindeki kopukluklar, acil servislere gereksiz başvurular, kentsel yalnızlaşma ve bakım verenlerin psikososyal destek eksikliği öne çıkan temel sorunlardır. Kırsal alanlarda ise coğrafi uzaklık, ulaşım imkânlarının kısıtlılığı, evde bakım hemşireliği hizmetlerinin yetersizliği, palyatif bakıma ilişkin toplumsal bilgi eksikliği ve semptom yönetimindeki (ağrı, beslenme problemleri, ajitasyon) gecikmeler temel engelleri oluşturmaktadır.

Sonuç: İleri evre demans yönetiminde bölgeye özgü palyatif hemşirelik modellerinin geliştirilmesi elzemdir. Kırsal bölgelerde evde bakım hizmetlerine palyatif hemşirelik entegrasyonu, tele-hemşirelik (tele-nursing) uygulamaları ve birinci basamak hemşirelerinin palyatif bakım yetkinliklerinin artırılması gerekmektedir. Kentsel bölgelerde ise palyatif bakım poliklinikleri ile toplum temelli hemşirelik merkezleri arasında koordinasyon sağlanmalı, bakım verenlere yönelik hemşire liderliğinde psikososyal eğitim programları yaygınlaştırılmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Demans, Semptom Yönetimi, Kırsal ve Kentsel Sağlık, Bakım Erişimi.

PALLIATIVE NURSING CARE FOR ADVANCED DEMENTIA PATIENTS IN RURAL AND URBAN AREAS: ACCESS BARRIERS AND NURSING APPROACHES

ABSTRACT

Objective: The aim of this review is to compare barriers to accessing palliative nursing services for patients with advanced dementia in rural and urban areas and to propose solutions aligned with holistic nursing approaches.

Materials and Methods: This study is a traditional review conducted in line with the literature examining access barriers to palliative care services and nursing approaches for patients with advanced dementia in rural and urban areas.

Results: Literature analysis reveals that although access to palliative care units and specialized nursing services is relatively higher in urban areas, disruptions in continuity of care, unnecessary emergency room visits, urban isolation, and a lack of psychosocial support for caregivers constitute major challenges. Conversely, in rural areas, geographical distance, limited transportation, insufficient home-based palliative nursing services, lack of public awareness regarding palliative care, and delays in symptom management (e.g., pain, nutritional problems, agitation) represent primary obstacles.

Conclusion: Developing region-specific palliative nursing models in advanced dementia

management is essential. In rural areas, integrating palliative nursing into home care services, expanding tele-nursing applications, and enhancing the palliative care competencies of primary care nurses are needed. In urban settings, coordination between palliative care outpatient clinics and community-based nursing centers should be established, and nurse-led psychosocial education programs for caregivers should be implemented.
Keywords: Dementia, Symptom Management, Rural and Urban Health, Access to Care.

BİRİNCİ BASAMAKTA KRONİK HASTALIK YÖNETİMİ VE YAŞLI İZLEMİ: BİLGİ, TUTUM VE UYGULAMA

Uzm. Dr. Sema Nur ŞAHİN ARSLAN
Uzman Doktor, Üsküdar İlçe Sağlık Müdürlüğü, Üsküdar, İstanbul
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-9657-0395
Dr. Emrullah ŞANALAN
Üsküdar İlçe Sağlık Müdürlüğü, Üsküdar, İstanbul,
ORCID ID: 0000-0002-4220-2597

ÖZET

Kronik hastalık (KH) yükü halk sağlığı için önemli bir sorun oluşturmaktadır. KH etkin yönetiminde sağlık çalışanlarının risk faktörlerini değerlendirme, doğru ölçüm tekniklerini kullanma, kayıt süreçlerini yürütme, dijital hastalık yönetim sistemlerinden yararlanma ve yaşlı bireylerin kapsamlı izlemini gerçekleştirme konusundaki bilgi ve tutumları önem taşımaktadır. Çalışmamızda, birinci basamak sağlık çalışanlarına uygulanan yapılandırılmış KH yönetimi eğitiminin bilgi ve tutum düzeylerinde oluşturduğu değişimin değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Araştırma, 1 Ağustos-30 Eylül 2026 tarihlerinde Üsküdar İlçe Sağlık Müdürlüğü Eğitim Biriminde gerçekleştirilen tek gruplu ön test-son test yarı deneysel müdahale türündedir. Üsküdar bölgesinde görev yapan aile sağlığı çalışanlarından, eğitime katılan ve gönüllü olan 88 sağlık çalışanı araştırmaya dahil edilmiştir. Güncel rehberler ile araştırmacılar tarafından hazırlanan 18 soruluk anket formu kullanılmıştır. Eğitim; Hastalık Yönetim Platformu (HYP), vital bulgular, yaşlı izlemi ve olgu yönetimi modüllerinden oluşturulmuş; doğru ölçüm teknikleri, geriatrik değerlendirme, SCORE2/SCORE2-OP risk değerlendirmesi ve yönlendirme süreçleri ele alınmıştır. Veriler SPSS programında analiz edilmiş, ön test-son test karşılaştırmalarında uygun parametrik ve nonparametrik testler kullanılmıştır. Değerlendirmede kullanılan 13 maddelik ölçeğin iç tutarlılığı iyi düzeyde bulunmuştur (Cronbach α=0,805). Genel puan medyanı ön testte 3,83 (Q1-Q3: 3,28-4,20), son testte 3,96 (Q1-Q3: 3,19-4,43) olarak saptanmış ve ön test-son test arasında istatistiksel olarak anlamlı fark bulunmuştur (Wilcoxon Z=2,390; p=0,017; r=0,255). Yaşlı sağlığında yetkinliğe ilişkin bilgi maddesinde de anlamlı değişim görülmüştür (Z=-3,635; p<0,001; r=0,465). Malpraktis bilgisine ilişkin maddede ön test-son test yanıt dağılımı anlamlı biçimde değişmiş (McNemar χ^2=10,618; p=0,001), 27 katılımcının yanlış yanıtı son testte doğruya dönüşmüştür. Yapılandırılmış KH yönetimi eğitimi sonrasında sağlık çalışanlarının genel puanlarında ve özellikle yaşlı izlemiyle ilişkili bilgi alanında anlamlı değişim gözlenmiştir. Sonuçlar,birinci basamak sağlık hizmetlerinde KH yönetiminin niteliğinin geliştirilmesi amacıyla düzenli, yapılandırılmış ve uygulamaya yönelik hizmet içi eğitimlerin sürdürülmesinin önemini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Birinci basamak sağlık hizmetleri; halk sağlığı; kronik hastalık yönetimi; sağlık çalışanı eğitimi; yaşlı izlemi

CHRONIC DISEASE MANAGEMENT AND OLDER ADULT FOLLOW-UP IN PRIMARY CARE: KNOWLEDGE, ATTITUDES, AND PRACTICE

ABSTRACT

The burden of chronic diseases (CDs) constitutes a major public health concern. Effective management of CDs requires healthcare professionals to have adequate knowledge and appropriate attitudes regarding risk factor assessment, accurate measurement techniques, record-keeping processes, the use of digital disease management systems, and comprehensive

follow-up of older adults. This study aimed to evaluate the change in knowledge and attitudes following structured chronic disease management training provided to primary healthcare professionals. This single-group pretest-posttest quasi-experimental intervention study was conducted between August 1 and September 30, 2026, at the Training Unit of the Üsküdar District Health Directorate. A total of 88 healthcare professionals working as family health personnel in the Üsküdar district who participated in the training and volunteered to take part in the study were included. An 18-item questionnaire developed by the researchers based on current guidelines was administered. The training consisted of four modules: the Disease Management Platform (HYP), vital signs, older adult follow-up, and case management. The training covered accurate measurement techniques, geriatric assessment, SCORE2/SCORE2-OP cardiovascular risk assessment, and referral processes. Data were analyzed using SPSS, and appropriate parametric and nonparametric tests were used for pretest-posttest comparisons. The internal consistency of the 13-item assessment scale was good (Cronbach's α=0.805). The median overall score was 3.83 (Q1-Q3: 3.28-4.20) at pretest and 3.96 (Q1-Q3: 3.19-4.43) at posttest, with a statistically significant difference between pretest and posttest scores (Wilcoxon Z=2.390; p=0.017; r=0.255). A significant change was also observed in the knowledge item related to competency in older adult health (Z=-3.635; p<0.001; r=0.465). The distribution of responses to the malpractice-related knowledge item changed significantly between pretest and posttest (McNemar χ^2=10.618; p=0.001), with incorrect responses changing to correct responses in 27 participants. Following structured chronic disease management training, significant changes were observed in healthcare professionals' overall scores, particularly in the area of knowledge related to older adult follow-up. These findings highlight the importance of maintaining regular, structured, and practice-oriented in-service training programs to improve the quality of chronic disease management in primary healthcare settings.

Keywords: Primary healthcare services; public health; chronic disease management; healthcare professional education; older adult follow-up

OKUL ÖNCESİ ÖĞRETMENLERİNİN TÜRKÇE-DİL ETKİNLİKLERİNDE ÇOCUKLARIN DUYULARINI TANIMA BECERİLERİNİ GELİŞTİRMEYE YÖNELİK UYGULAMALARININ BELİRLENMESİ

Öğr. Gör. Ebru ULUÇAY BEKTAŞ
Artvin Çoruh University, Health Services Vocational School, 08000 Merkez, Artvin
ORCID ID: 0000-0002-5714-1854
Öğr. Gör. Talip BEKTAŞ
Kafkas University, Sarıkamış Vocational School, 36500 Sarıkamış, Kars
ORCID ID: 0000-0002-9351-6721

ÖZET
Bu araştırma okul öncesi öğretmenlerinin Türkçe-dil etkinliklerinde çocukların duyularını tanıma becerilerini geliştirmeye yönelik uygulamalarının belirlenmesi amacıyla yapılacaktır. Araştırmanın çalışma grubunu 2026-2027 eğitim-öğretim yılında Artvin ilinde görev yapan mesleki deneyimi 10 yıl ve üzeri olan, araştırmaya gönüllü olarak katılmayı kabul edecek olan 25 okul öncesi öğretmeninin oluşturması hedeflenmektedir. Bununla birlikte araştırmanın katılımcı sayısı veri doygunluğu olgusu dikkate alınarak belirlenecektir. Yine bu doğrultuda çalışma grubunun belirlenmesinde belirlenmesinde amaçlı örneklem türlerinden kartopu örnekleme tekniği kullanılacaktır. Bu örnekleme potansiyel katılımcıların belirlenmesinin zor olduğu zamanlarda kullanılır. Bu teknikte katılımcılar tanıdıklarını araştırmaya yönlendirirler. Katılımcıların sırayla bir diğerine yönlendirmesiyle katılımcı grubu belli bir noktaya kadar devam eder. Tepeden aşağıya yuvarlandıkça büyüyen kartopu gibi örneklem hacmi giderek büyür. Araştırmada veri toplama aracı olarak, araştırmacı tarafından hazırlanan uzman görüşleri doğrultusunda düzenlenen yarı yapılandırılmış görüşme formu kullanılacaktır. Yarı yapılandırılmış görüşme tekniği, kendileriyle görüşülen kişilerin hepsine soruların aynı sırayla sorulduğu ve görüşülen kişilerin soruları istediği genişlikte yanıtlamasına izin verildiği bir görüşme şeklidir. Nitel araştırma yöntemlerinden olgu bilim (fenomenoloji) deseninin uygulanacağı bu araştırmada verilerin analizinde betimsel ve içerik analizi kullanılacaktır. Okul öncesi eğitimde okul öncesi öğretmenlerinin Türkçe-dil etkinliklerinde çocukların duyularını tanıma becerilerini geliştirmeye yönelik uygulamalarının belirlenmesi elzemdir. Bu bağlamda kullanılan yöntem ve tekniklerin belirlenmesi diğer öğretmenleri aydınlatacak nitelikte olacaktır. Bu doğrultuda araştırma bu gerekliliklerden doğmuştur. Bu araştırmada katılımcıların tamamının gönüllü olarak bu bilgi aktarımına yönelik uygulamalarını açıkça ifade ederek alana katkı sağlayacağı düşünülmektedir.
Anahtar kelimeler: Okul öncesi, Türkçe-dil etkinliği, duyuları tanıma

IDENTIFYING PRACTICES USED BY PRESCHOOL TEACHERS TO DEVELOP CHILDREN'S SENSORY RECOGNITION SKILLS THROUGH TURKISH LANGUAGE ACTIVITIES

ABSTRACT
This research will be conducted with the aim of identifying the practices employed by pre-school teachers to develop children's sensory recognition skills during Turkish language activities. The study group is intended to consist of 25 pre-school teachers working in Artvin province during the 2026–2027 academic year, who have 10 or more years' professional experience and who agree to participate in the research on a voluntary basis. However, the number of participants in the study will be determined taking into account the concept of data saturation. Furthermore, in line with this, the snowball sampling technique—one of the purposeful sampling methods—will be used to determine the study group. This sampling

method is used when it is difficult to identify potential participants. In this technique, participants refer people they know to the study. The group of participants continues to expand up to a certain point as participants refer one another in turn. Just as a snowball grows as it rolls downhill, the sample size gradually increases. In this study, a semi-structured interview form, prepared by the researcher in accordance with expert opinions, will be used as the data collection tool. The semi-structured interview technique is a form of interview in which the same sequence of questions is asked of all interviewees, whilst allowing them to answer the questions in as much detail as they wish. In this study, which will apply the phenomenological research design—one of the qualitative research methods—descriptive and content analysis will be used to analyse the data. It is essential to identify the practices employed by pre-school teachers in pre-school education to develop children's sensory recognition skills through Turkish language activities. Identifying the methods and techniques used in this context will serve to enlighten other teachers. It is for this reason that this research has been undertaken. It is anticipated that, in this study, all participants will contribute to the field by clearly articulating their practices relating to this knowledge transfer on a voluntary basis.
Keywords: Pre-school, Turkish language activity, sensory awareness

ÇOCUK GELİŞİMİ PROGRAMI ÖĞRENCİLERİNİN HAREKET ETKİNLİKLERİNE İLİŞKİN GÖRÜŞLERİ (KAFKAS ÜNİVERSİTESİ ÖRNEĞİ)

Öğr. Gör. Talip BEKTAŞ
Kafkas University, Sarıkamış Vocational School, 36500 Sarıkamış, Kars
ORCID ID: 0000-0002-9351-6721
Öğr. Gör. Ebru ULUÇAY BEKTAŞ
Artvin Çoruh University, Health Services Vocational School, 08000 Merkez, Artvin
ORCID ID: 0000-0002-5714-1854

ÖZET
Bu araştırma çocuk gelişimi programı öğrencilerinin hareket etkinliklerine ilişkin görüşlerinin belirlenmesi amacıyla yapılacaktır. Araştırmanın çalışma grubunu 2026-2027 eğitim öğretim yılında Kafkas Üniversitesi Sarıkamış Meslek Yüksekokulu Çocuk Gelişimi programı'nda öğrenim gören 1. ve 2. sınıflardan araştırmaya gönüllü olarak katılmayı kabul edecek olan 25 öğrencinin oluşturması hedeflenmektedir. Bununla birlikte araştırmanın katılımcı sayısı veri doygunluğu olgusu dikkate alınarak belirlenecektir. Yine bu doğrultuda çalışma grubunun belirlenmesinde amaçlı örneklem türlerinden kartopu örnekleme tekniği kullanılacaktır. Bu örnekleme potansiyel katılımcıların belirlenmesinin zor olduğu zamanlarda kullanılır. bu teknikte katılımcılar tanıdıklarını araştırmaya yönlendirirler. Katılımcıların sırayla bir diğerine yönlendirmesiyle katılımcı grubu belli bir noktaya kadar devam eder. Tepeden aşağıya yuvarlandıkça büyüyen kartopu gibi örneklem hacmi giderek büyür. Araştırmada veri toplama aracı olarak, araştırmacı tarafından hazırlanan uzman görüşleri doğrultusunda düzenlenen yarı yapılandırılmış görüşme formu kullanılacaktır. Yarı yapılandırılmış görüşme tekniği, kendileriyle görüşülen kişilerin hepsine soruların aynı sırayla sorulduğu ve görüşülen kişilerin soruları istediği genişlikte yanıtlamasına izin verildiği bir görüşme şeklidir. Nitel araştırma yöntemlerinden olgu bilim (fenomenoloji) deseninin uygulanacağı bu araştırmada verilerin analizinde betimsel ve içerik analizi kullanılacaktır. Okul öncesi eğitimde çocuk gelişimi programı öğrencilerinin hareket etkinliklerine ilişkin bilgilerini öğrenmek, bu bilgileri geliştirmek doğrultusunda ders içeriklerinde ne tür iyileştirmeler yapılabileceği konusunda müfredat hazırlayıcı öğretim elemanlarını aydınlatacak nitelikte olacaktır. Bu doğrultuda araştırma bu gerekliliklerden doğmuştur. bu araştırmada katılımcıların tamamının gönüllü olarak bu bilgi aktarımına yönelik uygulamalarını açıkça ifade ederek alana katkı sağlayacağı düşünülmektedir.
Anahtar kelimeler: Çocuk gelişimi, hareket eğitimi, öğrenci

CHILD DEVELOPMENT PROGRAM STUDENTS' PERSPECTIVES ON PHYSICAL ACTIVITIES (THE CASE OF KAFKAS UNIVERSITY)

ABSTRACT
This study will be conducted to determine the views of students in the child development program regarding physical activities. The study group is intended to consist of 25 first- and second-year students enrolled in the Child Development program at the Sarıkamış Vocational School of Kafkas University during the 2026–2027 academic year who voluntarily agree to participate in the study. However, the number of participants in the study will be determined

by taking into account the concept of data saturation. Also in line with this, the snowball sampling technique—one of the purposeful sampling methods—will be used to determine the study group. This sampling method is used when it is difficult to identify potential participants. In this technique, participants refer people they know to the study. The participant group continues to grow through participants referring one another in turn until a certain point is reached. ust like a snowball that grows as it rolls downhill, the sample size gradually increases. In this study, a semi-structured interview form—developed by the researcher based on expert opinions—will be used as the data collection tool. The semi-structured interview technique is a form of interview in which the same questions are asked in the same order to all interviewees, and interviewees are allowed to answer the questions in as much detail as they wish. In this study, which will apply the phenomenological research design—one of the qualitative research methods—descriptive and content analysis will be used to analyze the data. The study will shed light on the knowledge that early childhood education students have regarding motor activities and will inform curriculum developers about the types of improvements that can be made to course content to enhance this knowledge. In this context, this study arose from these requirements. It is anticipated that all participants in this study will contribute to the field by voluntarily and explicitly sharing their practices related to this knowledge transfer.
Keywords: Child Development, Motor Skills Education, Student

MULTİPL SKLEROZ TANILI BİREYLERDE YORGUNLUK ŞİDDETİ, KİNEZYOFOBİ VE YÜRÜME PERFORMANSI ARASINDAKİ İLİŞKİNİN İNCELENMESİ

Uzm. Fzt. Beyza Nur ASLANTAŞ SERİN
Department of Physiotherapy and Rehabilitation, Institute of Health Sciences, Dokuz Eylul University, Izmir, Turkey
ORCID ID: 0009-0007-0538-4882
Uzm. Fzt. Sajjad SHADIAN
Department of Physiotherapy and Rehabilitation, Institute of Health Sciences, Dokuz Eylul University, Izmir, Turkey
ORCID ID: 0009-0009-7571-1126
Prof. Dr. Birgül BALCI
Department of Geriatric Physiotherapy, Faculty of Physical Therapy and Rehabilitation, Dokuz Eylul University, Izmir, Turkey
ORCID ID: 0000-0002-0873-0900
Prof. Dr. Sibel CANBAZ KABAY
Dokuz Eylül University Faculty of Medicine, Department of Neurology, İzmir, Turkey
ORCID ID: 0000-0003-4808-2191

ÖZET

Amaç: Multipl Sklerozda (MS) yorgunluk, kinezyofobi ve yürüme performansındaki değişimler, bireylerin işlevselliğini sınırlayan önemli klinik sorunlardır. Bu çalışmanın amacı, MS tanılı bireylerde yorgunluk şiddeti, kinezyofobi düzeyi ve yürüme performansı arasındaki ilişkinin incelenmesidir.

Gereç ve Yöntem: Kesitsel olarak planlanan çalışmaya Relapsing-Remitting MS (RRMS) tanılı 18 birey dahil edildi. Katılımcıların engellilik durumu Genişletilmiş Özürlülük Durum Ölçeği (EDSS) ile; yürüme performansı Zamanlı 25 Adım Yürüme Testi (T25FW) ile; yorgunluk şiddeti Yorgunluk Şiddeti Ölçeği (YŞÖ) ve kinezyofobi düzeyi ise Tampa Kinezyofobi Ölçeği (TKÖ) ile değerlendirildi. Sürekli değişkenler ortalama ± standart sapma, kategorik değişkenler sayı ve yüzde [n (%)] olarak sunulurken, değişkenler arasındaki ilişkiler Spearman korelasyon analizi ile incelendi. İstatistiksel anlamlılık düzeyi $p < 0,05$ olarak kabul edildi.

Bulgular: Katılımcıların yaş ortalaması 38,67±12,42 yıl, tanı süresi 10,94±7,46 yıl ve EDSS skoru 1,17±1,36 olup, 12'si (%66,7) kadındı. T25FW tamamlama süresi 5,86±1,70 sn, YŞÖ toplam skoru 31,39±15,42 ve TKÖ toplam skoru 40,33±7,78 idi. Yorgunluk şiddeti ile kinezyofobi düzeyi arasında pozitif yönde anlamlı ilişki saptanırken ($r=0,575$; $p=0,013$), T25FW tamamlama süresi ile yorgunluk şiddeti ($r=-0,040$; $p=0,877$) ve kinezyofobi düzeyi ($r=0,173$; $p=0,506$) arasında istatistiksel olarak anlamlı ilişki saptanmadı.

Sonuç: RRMS'li bireylerde yorgunluk şiddetinin kinezyofobi düzeyi ile ilişkili olduğu görüldü. Buna karşın, yorgunluk şiddeti ve kinezyofobi düzeyi ile kısa mesafe yürüme performansı arasında anlamlı ilişki saptanmadı. Bu bulgular, RRMS'li bireylerin klinik değerlendirmesinde yorgunluk ve kinezyofobinin birlikte ele alınmasının yararlı olabileceğini düşündürmektedir.

Anahtar Kelimeler: Multipl skleroz, yorgunluk, kinezyofobi, yürüme performansı

ASSOCIATION BETWEEN FATIGUE SEVERITY, KINESIOPHOBIA, AND WALKING PERFORMANCE IN INDIVIDUALS WITH MULTIPLE SCLEROSIS

ABSTRACT

Objective: Fatigue, kinesiophobia, and alterations in walking performance are important clinical problems that may limit functioning in individuals with multiple sclerosis (MS). This study aimed to investigate the associations between fatigue severity, kinesiophobia, and walking performance in individuals with MS.

Methods: This cross-sectional study included 18 individuals with relapsing-remitting multiple sclerosis (RRMS). Disability status was assessed using the Expanded Disability Status Scale (EDSS), walking performance using the Timed 25-Foot Walk (T25FW), fatigue severity using the Fatigue Severity Scale (FSS), and kinesiophobia using the Tampa Scale for Kinesiophobia (TSK). Continuous variables were presented as mean ± standard deviation, and categorical variables as number and percentage [n (%)]. Associations between variables were examined using Spearman's rank correlation analysis. Statistical significance was set at $p<0.05$.

Results: The participants had a mean age of 38.67±12.42 years, a mean disease duration of 10.94±7.46 years, and a mean EDSS score of 1.17±1.36; 12 (66.7%) were women. The mean T25FW completion time was 5.86±1.70 s, the mean total FSS score was 31.39±15.42, and the mean total TSK score was 40.33±7.78. Fatigue severity was significantly and positively correlated with kinesiophobia ($\rho=0.575$; $p=0.013$). No statistically significant correlations were found between T25FW completion time and fatigue severity ($\rho=-0.040$; $p=0.877$) or kinesiophobia ($\rho=0.173$; $p=0.506$).

Conclusion: Fatigue severity was positively associated with kinesiophobia in individuals with RRMS. In contrast, neither fatigue severity nor kinesiophobia was significantly associated with short-distance walking performance. These findings suggest that fatigue and kinesiophobia may be useful to consider together in the clinical assessment of individuals with RRMS.

Keywords: Multiple Sclerosis, fatigue, kinesiophobia, walking performance

ANTİBİYOTİK DİRENCİ İLE MÜCADELEDE BAKTERİYOFAJLARIN TEDAVİ POTANSİYELİ: GÜNCEL DURUM VE KLİNİK UYGULAMALAR

Dr. Öğr. Üyesi Kübra Can Kurt
Department of Basic Medical Sciences, Hamidiye Faculty of Dentistry, University of Health Sciences, Istanbul 34668, Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-6862-7908

ÖZET

Antibiyotik direncinin giderek artması, bakteriyel enfeksiyonların tedavisinde önemli bir küresel sorun oluşturmaktadır (Murray ve ark., 2022; WHO, 2022). Günümüzde bakteriyofajlar (fajlar), standart antibiyotik tedavilerine yanıt vermeyen, kronik, tekrarlayan ve biyofilm ilişkili dirençli enfeksiyonlarda alternatif terapötik ajanlar olarak kullanılmaktadır (Alaaeddine ve ark., 2025; Sippel & Velimirov, 2025). Bu çalışmada, çoklu ilaç dirençli (ÇİD) patojenlerle mücadelede fajların terapötik potansiyelinin ve güncel klinik uygulamalarının değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

Faj tedavisi klinikte, özellikle *Pseudomonas aeruginosa* ve *Staphylococcus aureus* (MRSA) kaynaklı diyabetik ayak ülserleri ve yanık yaralarında merhem veya sprey şeklinde lokal olarak uygulanmaktadır (Chang ve ark., 2020; Mohan ve ark., 2024; Wang ve ark., 2024). Biyofilm tabakası oluşturmuş ortopedik implant enfeksiyonlarında implant yüzeyine lokal uygulama ile biyofilm eradikasyonu sağlamaktadır (Bartoška ve ark., 2026; Marino ve ark., 2025; PS & Suthindhiran, 2026). Sistemik enfeksiyonlar ve sepsiste ise faj kokteylleri intravenöz infüzyon ile verilerek tedavi sağlanmaktadır (Fu ve ark., 2025; Wu ve ark., 2023). Klinik uygulamalarda, tek bir faja karşı bakterilerin hızlı direnç geliştirmesini engellemek ve etki spektrumunu genişletmek amacıyla farklı reseptörleri hedefleyen litik faj kokteylleri tercih edilmektedir (Gordillo Altamirano & Barr, 2019; Khunti ve ark., 2026).

Günümüzde, Bakteriyofaj tedavisi ABD ve Avrupa Birliği'nde henüz rutin klinik kullanım için yaygın olarak ruhsatlandırılmış standart bir tedavi değildir. Bununla birlikte, ciddi veya yaşamı tehdit eden ve mevcut tedavi seçeneklerinin yetersiz kaldığı hastalarda, ülkeye özgü mevzuat kapsamında özel izinlerle yürütülmektedir (Faltus, 2024). Belçika, Fransa ve Portekiz'de, hastane ve akademik kurumlar kişiselleştirilmiş faj tedavilerinin magistral hazırlanması yoluyla faj tedavisi sunmaktadır. Ticari olarak üretilen fajlardan farklı olarak, magistral preparatlar seri üretim yoluyla değil, tedavi eden hekimin tıbbi reçetelerine göre talep üzerine hazırlanmaktadır (Niazi, 2025; Pirnay & Verbeken, 2023). Faj ürünlerinin düzenlenmesini kolaylaştırmak için Dünya çapında giderek artan sayıda "faj bankaları" kurulmaktadır (Nagel ve ark., 2022). ATCC (ABD), NCTC (İngiltere) ve Felix d'Herelle Bakteriyel Virüsler Referans Merkezi (Kanada) ile Pittsburgh Üniversitesi'ndeki SEA-PHAGES programı, Gürcistan'daki Eliava Bakteriyofajlar, Mikrobiyoloji ve Viroloji Enstitüsü ile Polonya'daki Hirszfeld İmmünoloji ve Deneysel Terapi Enstitüsü geniş bir faj koleksiyonlarına sahiptir (Hatfull, 2025; Żaczek ve ark., 2020).

Anahtar kelimeler: Bakteriyofaj tedavisi, antibiyotik direnci, çoklu ilaç direnci, litik fajlar

THE THERAPEUTIC POTENTIAL OF BACTERIOPHAGES IN THE COMBAT OF ANTIBIOTIC RESISTANCE: CURRENT STATUS AND CLINICAL APPLICATIONS

ABSTRACT

The increasing prevalence of antibiotic resistance poses a significant global challenge in the treatment of bacterial infections (Murray et al., 2022; WHO, 2022). Today, bacteriophages (phages) are used as alternative therapeutic agents for chronic, recurrent, and biofilm-associated resistant infections that do not respond to standard antibiotic treatments (Alaaeddine et al., 2025; Sippel & Velimirov, 2025). This study aims to evaluate the therapeutic potential and current clinical applications of phages in combating multidrug-resistant (MDR) pathogens.

In clinical practice, phage therapy is applied topically as an ointment or spray, particularly for diabetic foot ulcers and burn wounds caused by *Pseudomonas aeruginosa* and *Staphylococcus aureus* (MRSA) (Chang et al., 2020; Mohan et al., 2024; Wang et al., 2024). In infections involving orthopedic implants with biofilm formation, local application to the implant surface facilitates biofilm eradication (Bartoška et al., 2026; Marino et al., 2025; PS & Suthindhiran, 2026). For systemic infections and sepsis, treatment is provided by administering phage cocktails via intravenous infusion (Fu et al., 2025; Wu et al., 2023). In clinical practice, lytic phage cocktails targeting different receptors are preferred to prevent bacteria from rapidly developing resistance to a single phage and to expand the spectrum of activity (Gordillo Altamirano & Barr, 2019; Khunti et al., 2026).

Currently, bacteriophage therapy is not yet a standard treatment widely approved for routine clinical use in the United States or the European Union. However, in patients with severe or life-threatening conditions where existing treatment options are insufficient, it is conducted under special permits in accordance with country-specific regulations (Faltus, 2024). In Belgium, France, and Portugal, hospitals and academic institutions offer phage therapy through the compounding of personalized phage treatments. Unlike commercially produced phages, compounded preparations are not manufactured through mass production but are prepared on demand according to the treating physician's medical prescriptions (Niazi, 2025; Pirnay & Verbeken, 2023). To facilitate the regulation of phage products, an increasing number of "phage banks" are being established worldwide (Nagel et al., 2022). The ATCC (U.S.), NCTC (UK), and the Felix d'Herelle Reference Center for Bacterial Viruses (Canada), the SEA-PHAGES program at the University of Pittsburgh, the Eliava Institute of Bacteriophages, Microbiology, and Virology in Georgia, and the Hirszfeld Institute of Immunology and Experimental Therapy in Poland all maintain extensive phage collections (Hatfull, 2025; Żaczek et al., 2020).

Keywords: Bacteriophage therapy, antibiotic resistance, multidrug resistance, lytic phages

KAYNAKLAR

Alaaeddine, R., Al-Mohammed, N. H., Pillai, J., & Fayyad-Kazan, M. (2025). Phage therapy for Drug-Resistant infections: Mechanisms, Evidence, and emerging clinical strategies. *Mol Biol Rep*, *52*(1), 1051. https://doi.org/10.1007/s11033-025-11173-z

Bartoška, R., Barták, V., Gallo, J., & Musil, D. (2026). [Bacteriophage Therapy in Orthopaedics and Trauma]. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*, *93*(3), 170-177. https://doi.org/10.55095/achot2026/018

Chang, R. Y. K., Morales, S., Okamoto, Y., & Chan, H. K. (2020). Topical application of bacteriophages for treatment of wound infections. *Transl Res*, *220*, 153-166. https://doi.org/10.1016/j.trsl.2020.03.010

Faltus, T. (2024). The Medicinal Phage-Regulatory Roadmap for Phage Therapy under EU Pharmaceutical Legislation. *Viruses*, *16*(3). https://doi.org/10.3390/v16030443

Fu, S.-Y., Chen, X.-Z., Yi, P.-C., Gao, J., Wang, W.-X., Gu, S.-L., Gao, J.-H., Liu, D.-X., Xu, H.-F., & Zeng, Y. (2025). Optimizing phage therapy for carbapenem-resistant Enterobacter cloacae bacteremia: insights into dose and timing. *Antimicrobial Agents and Chemotherapy*, *69*(4), e01683-01624.

Gordillo Altamirano, F. L., & Barr, J. J. (2019). Phage Therapy in the Postantibiotic Era. *Clin Microbiol Rev*, *32*(2). https://doi.org/10.1128/cmr.00066-18

Hatfull, G. F. (2025). All the world's a phage. *Proc Natl Acad Sci U S A*, *122*(43), e2523344122. https://doi.org/10.1073/pnas.2523344122

Khunti, P., Mongkolkarvin, P., Buddhasiri, S., Pogliano, J., Nonejuie, P., Thiennimitr, P., & Chaikeeratisak, V. (2026). Rational Design of a Phage Cocktail for Effective Control of Multidrug-Resistant Uropathogenic Escherichia coli from Hospitalized Patients. *Antibiotics (Basel)*, *15*(9). https://doi.org/10.3390/antibiotics15090870

Marino, A., Stracquadanio, S., Cosentino, F., Maraolo, A. E., Colpani, A., De Vito, A., Geremia, N., Nicolosi, A., Oliva, A., Cacopardo, B., & Nunnari, G. (2025). Phage to ESKAPE: Personalizing Therapy for MDR Infections-A Comprehensive Clinical Review. *Pathogens*, *14*(10). https://doi.org/10.3390/pathogens14101011

Mohan, N., Bosco, K., Peter, A., Abhitha, K., & Bhat, S. G. (2024). Bacteriophage entrapment strategies for the treatment of chronic wound infections: a comprehensive review. *Arch Microbiol*, *206*(11), 443. https://doi.org/10.1007/s00203-024-04168-0

Murray, C. J., Ikuta, K. S., Sharara, F., Swetschinski, L., Aguilar, G. R., Gray, A., Han, C., Bisignano, C., Rao, P., & Wool, E. (2022). Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: a systematic analysis. *The lancet*, *399*(10325), 629-655.

Nagel, T., Musila, L., Muthoni, M., Nikolich, M., Nakavuma, J. L., & Clokie, M. R. (2022). Phage banks as potential tools to rapidly and cost-effectively manage antimicrobial resistance in the developing world. *Curr Opin Virol*, *53*, 101208. https://doi.org/10.1016/j.coviro.2022.101208

Niazi, S. K. (2025). Bacteriophage Therapy: Discovery, Development, and FDA Approval Pathways. *Pharmaceuticals (Basel)*, *18*(8). https://doi.org/10.3390/ph18081115

Pirnay, J. P., & Verbeken, G. (2023). Magistral Phage Preparations: Is This the Model for Everyone? *Clin Infect Dis*, *77*(Suppl 5), S360-s369. https://doi.org/10.1093/cid/ciad481

PS, F., & Suthindhiran, K. (2026). Pathobiology of ESKAPE Biofilms in implant infections: current understanding and implications for future therapeutic strategies. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, *16*, 1750702.

Sippel, K., & Velimirov, B. (2025). Phage Therapy: Application and Related Problems—A Review. *Life*, *16*(1), 57.

Wang, B., Du, L., Dong, B., Kou, E., Wang, L., & Zhu, Y. (2024). Current Knowledge and Perspectives of Phage Therapy for Combating Refractory Wound Infections. *Int J Mol Sci*, *25*(10). https://doi.org/10.3390/ijms25105465

WHO. (2022). *Global antimicrobial resistance and use surveillance system (GLASS) report 2022*. World Health Organization.

Wu, M. Y., Chen, L., Chen, Q., Hu, R., Xu, X., Wang, Y., Li, J., Feng, S., Dong, C., Zhang, X. L., Li, Z., Wang, L., Chen, S., & Gu, M. (2023). Engineered Phage with Aggregation-Induced Emission Photosensitizer in Cocktail Therapy against Sepsis. *Adv Mater*, *35*(6), e2208578. https://doi.org/10.1002/adma.202208578

Żaczek, M., Weber-Dąbrowska, B., Międzybrodzki, R., Łusiak-Szelachowska, M., & Górski, A. (2020). Phage Therapy in Poland - a Centennial Journey to the First Ethically Approved Treatment Facility in Europe. *Front Microbiol*, *11*, 1056. https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01056

LAPAROSKOPİK KOLESİSTEKTOMİDE CERRAHİ SONRASI HIZLANDIRILMIŞ İYİLEŞME (ERAS) TEMELLİ MULTİMODAL AĞRI YÖNETİMİNİN KLİNİK SONUÇLAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİ: AMBİSPEKTİF KOHORT ÇALIŞMASI

Dr. Bülent HALAÇLAR
MD, Specialist in General Surgery, Algomed Private Hospital, 01000 Adana, Türkiye
ORCID ID: 0000-0003-4010-1298
Assistant Professor Esma GÖKÇE
Department of Nursing, Faculty of Health Sciences, Adıyaman University, 02230Adıyaman, Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-9581-6958
Dr. Mohammad SEVİMLİ
MD, Specialist in Anesthesiology and Surgery, Algomed Private Hospital, 01000 Adana, Türkiye
ORCID ID: 0000-0001-7528-0535

ÖZET

Amaç: Bu çalışma, cerrahi sonrası hızlandırılmış iyileşme (Enhanced Recovery After Surgery, ERAS) temelli multimodal analjezi rejiminin, laparoskopik kolesistektomi (LK) uygulanan hastalarda postoperatif ağrı, opioid kullanımı ve komplikasyon oranları üzerindeki etkisini değerlendirmiştir.
Tasarım: Ambispektif kohort çalışma tasarımı kullanılmıştır.
Yöntemler: Toplam 63 hasta değerlendirilmiştir; bunların 30'u prospektif olarak ERAS multimodal analjezi gözlem grubuna atanmış, 33'ü ise standart bakım kontrol grubu için retrospektif olarak seçilmiştir. Karşılaştırmalı analizlerde, Görsel Analog Skala skorları kullanılarak postoperatif ağrı şiddeti, ek postoperatif opioid gereksinimi ve Clavien-Dindo sınıflandırmasına göre derecelendirilen cerrahi komplikasyonlar değerlendirilmiştir.
Bulgular: Postoperatif ağrı şiddeti gözlem grubunda 4. saatte ($p=0,011$), 8. saatte ($p=0,003$), 12. saatte ($p<0,001$) ve 24. saatte ($p<0,001$) anlamlı derecede daha düşük bulunmuştur. Ek opioid tüketimi gözlem grubundaki hastaların %23,3'ünde kaydedilirken, bu oran kontrol grubunda %48,5 olarak saptanmıştır (OR 0,32, %95 GA 0,11-0,96, $p=0,038$). Her iki gruptaki cerrahi komplikasyonlar minör düzeyde olup, tüm olgular Clavien-Dindo Derece I olarak sınıflandırılmıştır.
Sonuçlar: ERAS temelli multimodal ağrı yönetimi, LK cerrahisinde postoperatif ağrıyı ve opioid gereksinimini anlamlı düzeyde azaltmaktadır. Bu protokoller standart bakım stratejisi olarak benimsenmeli olup, klinik ve anestezi sonrası bakım ünitesi hemşireleri bu süreçte kilit rol oynamaktadır.
Anahtar Kelimeler: Laparoskopik Kolesistektomi, Cerrahi Sonrası Hızlandırılmış İyileşme (ERAS), Postoperatif Ağrı, Multimodal Analjezi.

IMPACT OF ENHANCED RECOVERY AFTER SURGERY (ERAS) BASED MULTIMODAL PAIN MANAGEMENT ON CLINICAL OUTCOMES IN LAPAROSCOPIC CHOLECYSTECTOMY: AN AMBISPECTIVE COHORT STUDY

ABSTRACT

Purpose: This study evaluated how an Enhanced Recovery After Surgery (ERAS) based multimodal analgesia regimen affects postoperative pain, opioid use, and complication rates in patients undergoing laparoscopic cholecystectomy (LC).

Design: An ambispective cohort study design was utilized.

Methods: A total of 63 patients were evaluated, with 30 assigned prospectively to the ERAS multimodal analgesia observation group and 33 selected retrospectively for the standard care control group. Comparative analyses assessed postoperative pain severity using Visual Analog Scale scores, supplementary postoperative opioid requirements, and surgical complications graded via the Clavien-Dindo classification.

Findings: Postoperative pain severity was significantly lower in the observation group at hour 4 ($p=0.011$), hour 8 ($p=0.003$), hour 12 ($p<0.001$), and hour 24 ($p<0.001$). Supplementary opioid consumption was recorded in 23.3% of patients in the observation group compared to 48.5% in the control group (OR 0.32, 95% CI 0.11-0.96, $p=0.038$). Surgical complications in both groups were minor, with all cases classified as Clavien-Dindo Grade I.

Conclusions: ERAS-based multimodal pain management significantly reduces postoperative pain and opioid requirements in LC. These protocols should be adopted as a standard care strategy, with clinical ward and post anesthesia care unit nurses playing a key role.

Keywords: Laparoscopic Cholecystectomy, Enhanced Recovery After Surgery, Postoperative Pain, Multimodal Analgesia.

KHOURY TEKNİĞİ VE OTOLOG DENTİN SHELL İLE ÜÇ BOYUTLU KEMİK REJENERASYONU VE İMPLANT YERLEŞTİRİLMESİ

Dr. Canan AKDENİZ
Dicle University, Faculty of Dentistry, Department of Periodontology, Diyarbakır, Türkiye
ORCID ID: 0009-0002-5304-3357

ÖZET
Yetersiz kemik hacmi, implantların ideal protetik pozisyonda yerleştirilmesini güçleştirebilmekte ve ileri kemik augmentasyon prosedürlerini gerekli kılabilmektedir. Bu olgu sunumunda, Khoury tekniği ve otolog dentin shell kullanılarak gerçekleştirilen üç boyutlu kemik rejenerasyonu ve ardından implantların yerleştirilmesi sunulmaktadır. Elli iki yaşındaki kadın hasta implant tedavisi amacıyla kliniğimize başvurdu. Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT) ile yapılan değerlendirmede posterior mandibular bölgede implant yerleştirilmesi için yeterli kemik genişliğinin bulunmadığı tespit edildi. Hastanın prognozu kötü olan 44 ve 45 numaralı dişlerinin çekimi, bağ dokusu grefti ve ileri kemik augmentasyonu planlandı. Çekilen dişler, daha sonraki cerrahi aşamada otolog dentin materyali olarak kullanılmak üzere fosfat tamponlu salin (PBS) solüsyonunda dondurularak saklandı. İleri augmentasyon cerrahisinde primer flep kapanmasını kolaylaştırmak ve yumuşak doku kalınlığını artırmak amacıyla diş çekimleriyle eş zamanlı olarak tünel tekniğiyle bağ dokusu grefti uygulandı. Dört aylık iyileşme döneminin ardından ramus bölgesinden otolog kemik bloğu alındı. Kemik bloğu iki parçaya ayrılarak Khoury tekniğine uygun şekilde vidalarla sabitlendi. Augmentasyon alanının geniş olması nedeniyle daha önce saklanan dişlerden hazırlanan otolog dentin shell de kullanıldı. Kemik kazıyıcı ile elde edilen otolog kemik partikülleri, ksenogreft ile karıştırılarak augmentasyon alanına yerleştirildi. Bölge membranla örtüldü ve yumuşak doku iyileşmesini desteklemek amacıyla PRF membran uygulandı. Gerilimsiz primer kapanmanın sağlanması amacıyla horizontal mattress sütürleri uygulandı ve flep kenarları basit tekli sütürlerle adapte edildi. Sütürler postoperatif 15. günde alındı ve iyileşme komplikasyonsuz gerçekleşti. Augmentasyondan 10 ay sonra implant yerleştirilmesine uygun kemik hacmi elde edildi ve bölgeye üç dental implant yerleştirildi. Bu olgu, Khoury tekniği ile otolog dentin shell kullanımının ileri kemik augmentasyonu gerektiren vakalarda implant yerleştirilmesine olanak sağlayan bir yaklaşım olabileceğini göstermektedir.
Anahtar kelimeler: Khoury tekniği, otolog dentin, kemik rejenerasyonu, kemik augmentasyonu, dental implant

THREE-DIMENSIONAL BONE REGENERATION USING THE KHOURY TECHNIQUE AND AUTOLOGOUS DENTIN SHELL WITH SUBSEQUENT IMPLANT PLACEMENT

ABSTRACT
Insufficient bone volume may hinder implant placement in an ideal prosthetically driven position and necessitate advanced bone augmentation procedures. This case report presents three-dimensional bone regeneration using the Khoury technique in combination with an autologous dentin shell, followed by implant placement. A 52-year-old female patient presented to our clinic for implant treatment. Cone-beam computed tomography (CBCT) evaluation revealed insufficient bone width for implant placement in the posterior mandibular region. Extraction of the mandibular right first and second premolars (teeth #44 and #45), connective

tissue grafting, and advanced bone augmentation were planned. The extracted teeth were frozen and stored in phosphate-buffered saline (PBS) for subsequent use as autologous dentin material. To increase soft tissue thickness and facilitate primary flap closure during the subsequent augmentation procedure, a connective tissue graft was placed using the tunnel technique simultaneously with tooth extraction. After a four-month healing period, an autologous bone block was harvested from the ramus. The bone block was divided into two pieces and fixed with screws according to the Khoury technique. Due to the large augmentation area, an autologous dentin shell prepared from the previously stored teeth was also used. Autologous bone particles harvested with a bone scraper were mixed with xenograft and placed in the augmentation site. The site was covered with a membrane, followed by placement of a platelet-rich fibrin (PRF) membrane to support soft tissue healing. Tension-free primary closure was achieved using horizontal mattress sutures followed by simple interrupted sutures. The sutures were removed on postoperative day 15, and healing was uneventful. Ten months after augmentation, sufficient bone volume for implant placement was achieved, and three dental implants were placed. This case suggests that the use of the Khoury technique with an autologous dentin shell may represent a feasible approach for achieving sufficient bone volume for implant placement in cases requiring advanced bone augmentation.

Keywords: Khoury technique, autologous dentin, bone regeneration, bone augmentation, dental implant

LATERAL PENCERE TEKNİĞİYLE MAKSİLLER SİNÜS TABANI ELEVASYONU VE İMPLANT REHABİLİTASYONU

Dr. Canan AKDENİZ
Dicle University, Faculty of Dentistry, Department of Periodontology, Diyarbakır, Türkiye
ORCID ID: 0009-0002-5304-3357

ÖZET
Posterior maksillada yetersiz rezidüel kemik yüksekliği, dental implantların yerleştirilmesini sınırlayabilmekte ve sinüs tabanı elevasyonu gibi ileri cerrahi işlemleri gerekli kılabilmektedir. Elli üç yaşındaki kadın hasta protetik rehabilitasyon amacıyla kliniğimize başvurdu. Klinik ve radyografik değerlendirme sonucunda dişsiz posterior bölgelerin implant destekli rehabilitasyonu planlandı. Konik ışınlı bilgisayarlı tomografi (KIBT) değerlendirmesinde 16–17 bölgesindeki rezidüel kemik yüksekliğinin yaklaşık 2–3 mm olduğu ve implant yerleştirilmesi için yetersiz olduğu tespit edildi. Bu nedenle tedavi iki aşamalı olarak planlandı; ilk aşamada lateral pencere yaklaşımıyla maksiller sinüs tabanı elevasyonu, altı aylık iyileşme döneminin ardından ise implant yerleştirilmesi öngörüldü. Tam kalınlık flebin kaldırılmasının ardından lateral pencere piezoelektrik cerrahi kullanılarak hazırlandı ve Schneiderian membran dikkatlice eleve edildi. Valsalva manevrasında membran perforasyonuna ilişkin bulgu gözlenmedi. Oluşturulan boşluk yaklaşık 2 cc kalın granüllü ksenogreft ile dolduruldu. Greft materyali ile Schneiderian membran arasına kollajen membran yerleştirildi. Lateral pencere kollajen membranla örtüldü. Sütürler postoperatif 12. günde alındı. Altı aylık iyileşme döneminin ardından 16–17 bölgesine iki dental implant yerleştirildi. İmplant yerleştirilmesinden dört ay sonra iyileşme başlıkları takıldı. Klinik ve radyografik değerlendirmede implantların iyileşmesinin sorunsuz olduğu gözlendi. Lateral pencere tekniğiyle gerçekleştirilen maksiller sinüs tabanı elevasyonunun, ileri derecede rezidüel kemik yüksekliği yetersizliği bulunan posterior maksillada implant yerleştirilmesine olanak sağlayan uygulanabilir bir tedavi yaklaşımı olduğu düşünülmektedir.
Anahtar kelimeler: Maksiller sinüs, sinüs tabanı elevasyonu, lateral pencere tekniği, kemik augmentasyonu, dental implant

MAXILLARY SINUS FLOOR ELEVATION USING THE LATERAL WINDOW TECHNIQUE AND IMPLANT REHABILITATION

Insufficient residual bone height in the posterior maxilla may limit dental implant placement and necessitate advanced surgical procedures such as sinus floor elevation. A 53-year-old female patient presented to our clinic for prosthetic rehabilitation. Following clinical and radiographic evaluation, implant-supported rehabilitation of the posterior edentulous regions was planned. Cone-beam computed tomography (CBCT) revealed a residual bone height of approximately 2–3 mm in the regions of teeth 16–17, which was insufficient for implant placement. Therefore, a two-stage treatment approach was planned, consisting of maxillary sinus floor elevation via a lateral window approach followed by implant placement after a six-month healing period. After elevation of a full-thickness flap, the lateral window was prepared using piezoelectric surgery, and the Schneiderian membrane was carefully elevated. No signs of membrane perforation were observed during the Valsalva maneuver. The created space was filled with approximately 2 cc of large-particle xenograft. A collagen membrane was placed

between the graft material and the Schneiderian membrane, and the lateral window was covered with a collagen membrane. Sutures were removed on postoperative day 12. After a six-month healing period, two dental implants were placed in the regions of teeth 16–17. Four months after implant placement, healing abutments were connected. Clinical and radiographic evaluation revealed uneventful implant healing. Maxillary sinus floor elevation using the lateral window technique may represent a feasible treatment approach that enables implant placement in the posterior maxilla with severely reduced residual bone height.

Keywords: Maxillary sinus, sinus floor elevation, lateral window technique, bone augmentation, dental implant

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

FOOD SECURITY AND INTERNATIONAL COOPERATION: BUILDING RESILIENT AGRICULTURAL SYSTEMS IN A CHANGING WORLD

Mustafa Nijat
Nasrullah Amini
Mehdi Rezai
Sara Safdari
Ali Sina Mohammadi
Shah Wali Rezaie
Sayed Ali Reza Balkhi
Nesar Hussain Mohammadi
Ghazi Amanullah Boys
ORCID: 0009-0007-8071-9670

Abstract

Food security has emerged as a major global challenge as climate change, population growth, environmental degradation, economic instability, conflicts, and disruptions to agricultural supply chains increasingly affect food production and access. Because food systems are interconnected across national borders, addressing these challenges requires cooperation among states, international organizations, research institutions, agricultural communities, and other stakeholders. This study examines the relationship between food security, international cooperation, and agricultural resilience in the context of a rapidly changing global environment. Using a qualitative review of existing academic literature and international reports, the study explores how international cooperation can contribute to resilient and sustainable agricultural systems. Particular attention is given to knowledge and technology sharing, climate-smart agriculture, sustainable water and land management, agricultural investment, emergency food assistance, and international coordination of food systems. The study also considers the importance of international institutions and multilateral frameworks in supporting countries that are particularly vulnerable to food insecurity and climate-related agricultural challenges.

The analysis indicates that strengthening agricultural resilience requires not only technological and agricultural solutions but also effective international cooperation and coordinated policy responses. Greater collaboration can facilitate the exchange of agricultural knowledge, mobilize financial and technical resources, strengthen food supply chains, and improve countries' capacity to respond to climate and food-related crises. The study concludes that international cooperation is an important component of long-term food security and sustainable agricultural development and can contribute to progress toward the Sustainable Development Goals, particularly SDG 2 (Zero Hunger) and SDG 17 (Partnerships for the Goals).

Keywords: Food Security; International Cooperation; Agricultural Resilience; International Relations; Sustainable Agriculture; Climate Change; Food Systems; Sustainable Development Goals

SOCIAL RESILIENCE TRAINING FOR ACTIVE WOMEN

Noorjan Mossawi
Masters student department of women's studies..
Ahlul bayt international university of Iran

Abstract: Social resilience training for active women is a fundamental approach to enhancing the individual and collective capabilities of women in confronting social, economic, and cultural challenges. Due to the multiple roles active women undertake in family, community, and workplace environments, they are more exposed than other groups to psychological pressures, social discrimination, job insecurity, and social crises. In this context, social resilience—defined as the ability to adapt, withstand, and recover in the face of difficult conditions—plays a key role in preserving women's mental health and social stability.

Social resilience training involves strengthening skills such as stress management, problem-solving, informed decision-making, effective communication, self-awareness, and social participation. These trainings enable women to demonstrate more logical and constructive responses during crises and to leverage their individual and social capacities to overcome challenges. Furthermore, enhancing social resilience increases self-confidence, a sense of social belonging, and the motivation for active participation in social processes among women.

On the other hand, resilient women can act as agents of change in society and play an effective role in strengthening social cohesion, reducing social harms, and transmitting coping skills to future generations. Social resilience training for active women not only contributes to improving their individual quality of life but also lays the groundwork for sustainable development, increases social capital, and fosters a society more resistant to crises.

ADVANCES IN ANIMAL HOUSING DESIGN AND THEIR PHYSIOLOGICAL IMPACT ON LIVESTOCK HEALTH AND PRODUCTIVITY

Oussama Mahmoudi
Mohamed-Cherif Messaadia University, Faculty of Natural and Life Sciences, Department of Veterinary Medicine .Souk Ahras .Algeria.
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0004-1817-3759

Abstract
The field of animal housing design has undergone significant transformation in the last five years, shifting from designs primarily focused on shelter provision to designs that emphasize animal welfare. This review aims to provide a critical analysis of the latest research related to advancements in the engineering design of housing and its physiological impact on the animal health status and productivity. This study is based on an analysis of multiple international peer-reviewed studies conducted between 2021 and 2025 focusing on: ⁾ Ventilation and temperature regulation ⁾ Animal density and space allocation ⁾ Flooring design and structural layout The results of each study and research on animal housing design during this period (2020–2025) demonstrate that improved ventilation reduces the incidence of respiratory diseases by approximately 20-35% and decreases ammonia concentration by nearly 30-50%. It also reduces heat stress by nearly 25-40%, which can increase milk production by about 5 15%in dairy cattle. This in turn improves hormonal stability and improves feed conversion ratio. Regulating animal density, improving floor design and optimizing animal movement patterns reduce disease incidence and metabolic energy expenditure, thus redirecting energy toward productive performance. Smart monitoring systems enable early detection of health disorders and analyze animal behavior in addition to environmental sensing technologies. Economically, despite the significant costs of implementing advanced housing systems, the data indicate a reduction in losses and a substantial increase in production efficiency in the long term. Specifically, improved housing and environmental control can increase production efficiency by approximately10-18%, while reducing health-related losses by nearly15-25%. This review highlights the critical role of advanced animal housing and its contribution to the livestock production systems as it reduces losses and increases production.
Keywords: Animal housing design, animal welfare, environmental control

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
Khaoula EL BARBI
Laboratory of Health Sciences and Technologies, Higher Institute of Health Sciences, Hassan First University of Settat, Settat, Morocco
Fatima Zahra BOUCHACHI
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

THE "JUST LEAVE ME ALONE" PHENOMENON AND SOCIAL FATIGUE AMONG ADOLESCENTS IN THE DIGITAL ERA: A DESCRIPTIVE SURVEY OF STUDENTS AT MTSN 1 BANDA ACEH

Faiha Alkaisara Ulima
Halimatussakdiah
Madrasah Tsanawiyah I Banda Aceh, Indonesia

ABSTRACT
Digital technology has created more opportunities for adolescents to interact, but ongoing communication demands can also cause fatigue and increase the need for personal time. This study describes social fatigue and students' desire to limit interaction at MTsN 1 Banda Aceh in the context of digital media use. The expression "Just Leave Me Alone" is used descriptively to capture the desire for personal space when interaction demands become overwhelming. The study used a descriptive survey in which 55 students completed a questionnaire. The study analyzed data using frequencies and percentages. Results show that 32 respondents (58.2 percent) often or very often felt drained after digital conversations, 30 respondents (54.5 percent) experienced fatigue, and 35 respondents (63.6 percent) wanted time alone. In addition, 12 respondents (21.8 percent) reported difficulty completing assignments when limiting their interactions. These findings describe fatigue and the need for personal time among some respondents, but do not establish a diagnosis or causal relationship. Family and school support, stronger digital literacy, and appropriate management of interaction time may help address adolescents' personal needs while supporting their engagement in learning.
Keywords: digital interaction, social fatigue, adolescents, personal time.

INTRODUCTION
Humans are social beings who need interaction to survive, develop, and form their identities. From the earliest stages of life, individuals require physical protection, emotional support, and a sense of security within their social environment (Schalinski et al., 2024). Throughout development, social interaction shapes character, values, norms, and social skills that influence how individuals think, feel, and behave. According to Triana et al. (2019), healthy social interaction fosters acceptance and appreciation, providing a foundation for psychological well-being and mental health.

However, patterns of social interaction have changed significantly alongside the rapid development of information and communication technologies. In the digital era, social interaction extends beyond physical spaces into virtual environments through social media, instant messaging applications, and other online platforms (Liu et al., 2024). According to Jabeen et al. (2023), adolescents are among the most active participants in these digital spaces and are particularly vulnerable to their effects. Intensive digital interaction often exposes adolescents to ongoing social pressure.

One of the most concerning forms of social pressure in the digital era is cyberbullying. Global data from the *Asia Care Survey* (2025) indicate that one in three adolescents worldwide has experienced cyberbullying, either directly or indirectly. Statistics across Asia place cyberbullying prevalence at approximately 20 to 40 percent, while the Indonesian Child Protection Committee (2026) reports that more than 45 percent of Indonesian adolescents have experienced cyberbullying, including ridicule, insults, rumor spreading, and digital social

exclusion. Unlike conventional bullying, cyberbullying can occur at any time, spread rapidly, involve anonymous perpetrators, and be difficult to control, thereby prolonging victims' psychological distress. This pressure contributes to social fatigue and the emergence of what adolescents call the "Just Leave Me Alone" (JLMA) phenomenon (Novotney, 2019; Zain et al., 2020).

Beyond the statistics and psychological terminology, some adolescents choose silence because they feel exhausted in a world that never seems to offer a "pause" button. The JLMA phenomenon is not a formal clinical diagnosis, rather, it describes emotional and mental exhaustion accompanied by a strong desire to withdraw from social interaction. Among adolescents, this condition emerges as a response to excessive psychological pressure in both offline and digital environments (Gajos et al., 2022). The desire to be alone is therefore not merely a rejection of others but may represent a self-protective mechanism for relieving emotional overload accumulated through social demands.

METHODOLOGY

This study adopted a quantitative approach using a descriptive survey design to describe the "*Just Leave Me Alone*" phenomenon and social fatigue among adolescents in the context of digital interaction. It focused on how often students experienced this, their need for personal time, and the difficulties it added to their daily activities. Open-ended responses supplemented the quantitative findings by explaining respondents' experiences. Consistent with its descriptive purpose, the study did not test causal relationships or establish psychological diagnoses.

The study was conducted at MTsN 1 Banda Aceh. The study population comprised currently enrolled students, and the sample consisted of 55 students. Respondents answered based on their experiences during the four weeks before questionnaire completion. Operationally, we defined digital interaction pressure as feeling burdened by demands to reply to messages, frequent notifications, concerns about missing conversations, and the need for social acceptance. Social fatigue was defined as experiences of depleted energy, weariness, feeling overwhelmed, and difficulty concentrating after digital interaction. Meanwhile, the "*Just Leave Me Alone*" phenomenon referred to the desire to limit conversations, reduce responses or social encounters, and spend time alone when interaction demands felt excessive.

The research instrument was a questionnaire addressing digital pressure, fatigue, and students' need for personal space. It included respondent profiles, digital media use habits, and questions concerning the experiences outlined in Table 1.

The JLMA phenomenon has become increasingly prominent in an era dominated by digital media. Social media creates a continuously active interaction space, with notifications, messages, and comments arriving in succession (Allen, 2022). The demand to remain responsive, described in terms of a "dopamine loop," creates constant social pressure, leaving adolescents feeling that they lack private space to disconnect and recover psychologically. Furthermore, Cheng and Lee (2023) suggest that contemporary social interaction extends beyond immediate social circles to large, often anonymous audiences, increasing the risk of difficult-to-manage emotional pressure.

In the short term, withdrawal associated with JLMA may appear beneficial. Stepping back from social interaction can help adolescents reduce mental fatigue and create opportunities for self-reflection (Cacioppo et al., 2009). Time alone allows individuals to restore depleted emotional energy, calm their minds, and avoid social conflicts that may trigger anxiety. However, these benefits are temporary and do not address the underlying problem, particularly when social pressure and digital demands continue without healthy coping strategies.

These circumstances are compounded by social fatigue, cyberbullying, and a strong culture of social comparison in digital media. Adolescents may feel compelled to present an idealized self-image to gain recognition through likes, positive comments, and follower counts (Gołąb-Andrzejak, 2023). When their lived experiences do not match the idealized portrayals they encounter online, they may feel inferior, inadequate, and anxious. In such situations, JLMA becomes a perceived safe psychological refuge from judgment and distressing emotional pressure.

Over the longer term, however, persistent withdrawal associated with JLMA may have more serious consequences if left unaddressed. Hattingh et al. (2022) explain that sustained withdrawal may hinder the development of adolescents' social skills, including communication, cooperation, and conflict resolution. Reduced social interaction may also limit access to emotional support, increasing vulnerability to chronic loneliness, social anxiety, and depression. Isolation that initially serves a protective function may develop into a harmful pattern of social avoidance.

JLMA should therefore be understood as a potential signal of an imbalance between social demands, digital media use, and adolescents' mental health needs. Addressing it requires more than restricting technology use. A comprehensive approach may include respecting personal space, strengthening emotional and digital literacy, and developing more human-centered technologies through features such as AI filters and effective cyberbullying reporting systems (Gołąb-Andrzejak, 2023). Understanding these experiences is important for addressing potentially broader problems in the future. Accordingly, this study examines fatigue and the desire to reduce interaction through students' self-reports, without assuming that all such experiences indicate loneliness, anxiety, or depression.

In an educational context, MTsN 1 Banda Aceh serves as the research site for describing these experiences among Islamic junior secondary students. At this developmental stage, peer relationships, social acceptance, and identity formation are important aspects of students' lives. School-based interaction may also continue through digital communication, both for learning purposes and for maintaining friendships. The madrasah context therefore offers an opportunity to understand how students experience interaction demands while balancing their need for personal time with academic and social activities.

LITERATURE REVIEW

Social relationships provide an important context for understanding adolescents' emotional experiences, including fatigue and the desire to reduce interaction. In their study of junior secondary school students in Jakarta, Triana et al. (2019) identified self-esteem, family relationships, and social support as relevant aspects of adolescent mental health. This perspective aligns with Gajos et al. (2022), who examined adverse childhood experiences and risk and protective factors during adolescence, including peer bullying, parental closeness, and school connectedness. Together, these studies indicate that adolescents' experiences need to be understood in relation to their individual circumstances and social environments.

The importance of the family environment is also evident in Pangestu et al. (2020), who found associations among self-efficacy, parenting, and self-confidence among primary school students. Meanwhile, Indrayati and Livana (2019) described experiences of verbal abuse among school-aged children. Although these studies involve different age groups and research focuses than the present study, both broaden understanding that communication can be both supportive and unpleasant. Taken alongside Triana et al. (2019), these findings provide a rationale for examining relationship quality rather than merely the presence of interaction.

These social relationships now unfold in environments that combine face-to-face and digital communication. Ventriglio et al. (2024) discussed the benefits of social media for connectedness and access to information, alongside potential concerns associated with its use, including social comparison, cyberbullying, and sleep disturbances. In a systematic review, Keles et al. (2020) also identified associations between different dimensions of social media use and depression, anxiety, and psychological distress among adolescents. Taken together, these studies suggest that digital experiences require a balanced interpretation, such as social media can support relationships, while particular patterns of use and experiences may be associated with emotional difficulties.

In this context, social media fatigue is closely related to the broader focus of the present study. Dhir et al. (2018) examined social media use among adolescents in India and identified associations among compulsive use, social media fatigue, and symptoms of anxiety and depression. These findings are complemented by Shannon et al. (2022), whose systematic review and meta-analysis identified associations between problematic social media use and depression, anxiety, and stress among adolescents and adults. Both studies support distinguishing digital activity itself from exhausting or disruptive experiences of use. In the present study, we operationally define social fatigue as tiredness, weariness, or reduced energy for interaction, without equating these experiences with a diagnosis of a mental disorder.

One concept linking digital engagement to fatigue is *fear of missing out* (FoMO). Hattingh et al. (2022) examined the relationship between FoMO and social media fatigue through information overload, communication overload, compulsive use, and online subjective well-being. Jabeen et al. (2023) extended this discussion by incorporating social comparison, self-disclosure, and narcissism into their research framework. Their study highlighted the tension between the desire to stay connected and the burden that engagement can bring. This perspective is relevant to examining experiences of feeling obliged to reply to messages, follow conversations, or compare oneself with others.

Beyond the demands of staying connected, researchers should also consider negative interaction experiences when examining adolescent fatigue. Englander (2021) investigated bullying, cyberbullying, anxiety, and depression among children and adolescents during the pandemic. The study found substantial increases in anxiety and depression, whereas increases in bullying and cyberbullying were relatively small or absent. These findings complement Ventriglio et al.'s (2024) discussion, suggesting that emotional distress may coexist with various changes in everyday life. Cyberbullying can therefore be considered one experience that may accompany social fatigue, but it should not be treated as the sole explanation for the desire to reduce interaction.

The desire to reduce interaction must also be distinguished from loneliness. Cacioppo et al. (2009) showed that loneliness clusters within social networks and is more prevalent at their peripheries. In contrast, Nguyen et al. (2018) demonstrated that spending time alone can reduce the intensity of high-arousal emotions, both positive and negative. These studies' different focuses help clarify that being alone, wanting personal space, and feeling lonely are distinct experiences. In the present study, we use the expression “Just Leave Me Alone” descriptively to represent the desire for a break from interaction.

Distinguishing the need for personal time from social difficulties matters, especially when considering students’ access to support. Shifrer et al. (2024) examined mental health stigma in the context of school-based health services and showed that stigma can arise through relationships with peers, parents, and the service environment. Along with Triana et al. (2019), this research suggests that support availability must match an environment where students feel

comfortable accessing it. Within this context, asking for time alone should not automatically be labeled negatively. Instead, researchers can examine these experiences through the lens of students' comfort with social interaction.

Gaffney et al. (2021), through a systematic review and meta-analysis, provided a basis for considering school-level efforts to strengthen social support. This literature informs the discussion of empathetic communication, safe interactions, and access to support as relevant considerations in adolescent communication. Based on this synthesis, the present study of students at MTsN 1 Banda Aceh aims to describe the frequency of social fatigue and the desire for personal time.

METHODOLOGY

This study used a quantitative, descriptive survey design to describe the "*Just Leave Me Alone*" phenomenon and social fatigue among adolescents in the context of digital interaction. It focused on how often students experienced this, their need for personal time, and the difficulties it added to their daily activities. Open-ended responses supplemented the quantitative findings by explaining respondents' experiences. Consistent with its descriptive purpose, the study did not test causal relationships or establish psychological diagnoses.

The study was conducted at MTsN 1 Banda Aceh. The study population comprised currently enrolled students, and the sample consisted of 55 students. Respondents answered based on their experiences during the four weeks before questionnaire completion. Operationally, we defined digital interaction pressure as feeling burdened by demands to reply to messages, frequent notifications, concerns about missing conversations, and the need for social acceptance. Social fatigue was defined as experiences of depleted energy, weariness, feeling overwhelmed, and difficulty concentrating after digital interaction. Meanwhile, the "*Just Leave Me Alone*" phenomenon referred to the desire to limit conversations, reduce responses or social encounters, and spend time alone when interaction demands felt excessive.

The research instrument was a questionnaire addressing digital pressure, fatigue, and students' need for personal space. It included respondent profiles, digital media use habits, and questions concerning the experiences outlined in Table 1.

Table 1. Operational Definitions of Variables

Aspect	Operational definition
Digital interaction pressure	Feeling burdened by messages, notifications, demands to respond, and expectations of online social acceptance
Fatigue following digital interaction	Experiences of depleted energy, weariness, feeling overwhelmed, and difficulty concentrating after digital interaction
Desire to reduce interaction	The desire to limit responses, conversations, or social encounters and to spend time alone when feeling overwhelmed
Negative online experiences	Experiences of receiving derogatory comments, exclusion, or having information shared without permission
Social support	Access to family members, friends, and teachers or support staff when help is needed
Context of personal time	Reasons for spending time alone, its duration, and feelings afterward
Difficulties in daily	Learning difficulties, missed school activities, and disruptions to

Aspect	Operational definition
activities	friendships reportedly associated with the desire to reduce interaction
Students' experiences and expectations	Descriptions of situations, strategies for coping with pressure, and desired support

Data were analyzed using descriptive statistics, with frequencies and percentages calculated for each questionnaire item. Percentages were calculated using the following formula:

$$P = \frac{f}{n_i} x100\%$$

where (P) represents the percentage of responses, (f) is the number of respondents in a particular category, and n_i is the number of valid responses to the corresponding item. Open-ended responses were read, coded, and grouped into emerging themes to supplement the interpretation of the quantitative findings. The authors interpreted all findings as descriptions of respondents' experiences, without drawing causal conclusions.

RESULT AND DISCUSSION

Data from 55 respondents were compiled to describe the survey findings on the *"Just Leave Me Alone"* phenomenon and social fatigue in the context of digital interaction. The presentation focuses on four questionnaire items: feeling emotionally drained, experiencing weariness after online interaction, wanting time alone, and having difficulty completing academic assignments. Responses categorized as "often" and "very often" were combined for reporting. All 55 respondents provided complete responses to these four items. Table 2 presents the corresponding frequencies and percentages.

Table 2. Frequency of Responses Categorized as "Often" or "Very Often"

Indicator	Number of respondents	Percentage
Feeling drained after participating in digital conversations	32	58.2%
Feeling weary after numerous online interactions	30	54.5%
Wanting time alone when facing numerous interactions demands	35	63.6%
Having difficulty completing academic assignments when wanting to reduce interaction	12	21.8%

Source: Survey findings (2026).

Table 2 shows that 32 respondents, or 58.2 percent, often or very often felt drained after participating in digital conversations. In addition, 30 respondents, or 54.5 percent, reported feeling weary after numerous online interactions. These indicators describe different experiences of fatigue: feeling drained reflects depleted energy after communication, whereas weariness reflects a sense of being tired of the interactions encountered. The desire for time alone had the highest percentage among the four items presented. A total of 35 respondents, or 63.6 percent, often or very often wanted personal time when facing numerous interaction demands. Meanwhile, 12 respondents (21.8 percent) reported difficulty completing academic assignments when they wanted to reduce interaction.

The survey findings highlight the importance of distinguishing social fatigue, the need for personal time, and difficulties in carrying out everyday activities. These should not be treated

as equivalent experiences. One student may want a break from conversations without experiencing learning difficulties, whereas another may want to reduce interaction alongside difficulty completing assignments. Researchers should examine these possibilities through individual responses rather than inferring them solely from comparisons of percentages.

The concept of social media fatigue can help explain experiences of depleted energy and weariness. Dhir et al. (2018) and Hattingh et al. (2022) provide a basis for understanding fatigue in relation to patterns of use and digital demands. However, responses to these four items do not establish the factors underlying these experiences. Fatigue therefore cannot be directly attributed to usage duration, notification frequency, or fear of missing out (FoMO) without support from relevant responses.

In this study, the expression *"Just Leave Me Alone"* refers to the desire for personal space when interaction demands feel excessive. The high frequency of wanting time alone in these data does not establish the presence of a syndrome or psychological disorder. Nguyen et al.'s (2018) study of solitude and Cacioppo et al.'s (2009) research on loneliness help clarify that requesting personal time is not necessarily equivalent to feeling lonely. Further interpretation requires information about students' reasons for seeking solitude, how long they seek it, and their readiness to resume interaction.

CONCLUSION

Among the 55 respondents, 32 (58.2 percent) often or very often felt drained after digital conversations, while 30 (54.5 percent) experienced weariness after numerous online interactions. A total of 35 respondents (63.6 percent) wanted time alone when facing numerous interaction demands, whereas 12 (21.8 percent) reported difficulty completing academic assignments when reducing interaction. These patterns highlight the importance of distinguishing social fatigue, the need for personal time, and difficulties in everyday functioning. The *"Just Leave Me Alone"* phenomenon is understood descriptively as the desire for personal space when interaction demands feel excessive.

Drawing on the literature, students are encouraged to manage their digital media use, take breaks as needed, and communicate their need for personal space appropriately. When fatigue begins to interfere with learning or social relationships, students are encouraged to seek support from someone they trust. Parents and schools can support students through open communication, agreed guidelines for digital media use, anti-bullying education, and confidential support services that respect students' needs.

Future research should pay particular attention to reasons for seeking solitude, its duration, feelings after spending time alone, social support, and difficulties in everyday activities. Reviewing the instrument before data collection is also necessary to ensure that questions are understandable and relevant to students' experiences. Future studies should also apply appropriate statistical methods. This would ground conclusions and recommendations in the collected evidence and support them with more rigorous analysis.

REFERENCE

Allen, D. M. (2012, December 3). *Leave me alone – I'm lonely*. Psychology Today. https://www.psychologytoday.com/au/blog/a-matter-of-personality/201212/leave-me-alone-im-lonely

Cacioppo, J. T., Fowler, J. H., & Christakis, N. A. (2009). Alone in the crowd: The structure and spread of loneliness in a large social network. *Journal of Personality and Social Psychology*, *97*(6), 977–991. https://doi.org/10.1037/a0016076

Cheng, I.-H., & Lee, S.-T. (2023). Timeliness, responsiveness and the human voice: The effects of dialogic strategies and the mediating role of perceived communication ethicality on social media relationship building. *Public Relations Review, 49*(4), Article 102355. https://doi.org/10.1016/j.pubrev.2023.102355

Dhir, A., Yossatorn, Y., Kaur, P., & Chen, S. (2018). Online social media fatigue and psychological wellbeing—A study of compulsive use, fear of missing out, fatigue, anxiety and depression. *International Journal of Information Management, 40*, 141–152. https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2018.01.012

Englander, E. (2021). Bullying, cyberbullying, anxiety, and depression in a sample of youth during the coronavirus pandemic. *Pediatric Reports, 13*(3), 546–551. https://doi.org/10.3390/pediatric13030064

Gaffney, H., Ttofi, M. M., & Farrington, D. P. (2021). Effectiveness of school-based programs to reduce bullying perpetration and victimization: An updated systematic review and meta-analysis. *Campbell Systematic Reviews, 17*(2), Article e1143. https://doi.org/10.1002/cl2.1143

Gajos, J. M., Miller, C. R., Leban, L., & Cropsey, K. L. (2022). Adverse childhood experiences and adolescent mental health: Understanding the roles of gender and teenage risk and protective factors. *Journal of Affective Disorders, 314*, 303–308. https://doi.org/10.1016/j.jad.2022.07.047

Gołąb-Andrzejak, E. (2023). Measuring the effectiveness of digital communication—Social media performance: An example of the role played by AI-assisted tools at a university. *Procedia Computer Science, 225*, 3332–3341. https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.10.327

Hattingh, M., Dhir, A., Ractham, P., Ferraris, A., & Yahiaoui, D. (2022). Factors mediating social media-induced fear of missing out (FoMO) and social media fatigue: A comparative study among Instagram and Snapchat users. *Technological Forecasting and Social Change, 185*, Article 122099. https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122099

Indrayati, N., & Livana, P. H. (2019). Gambaran verbal abuse orang tua pada anak usia sekolah. *Jurnal Ilmu Keperawatan Anak, 2*(1), 9–18. https://doi.org/10.32584/jika.v2i1.220

Jabeen, F., Tandon, A., Sithipolvanichgul, J., Srivastava, S., & Dhir, A. (2023). Social media-induced fear of missing out (FoMO) and social media fatigue: The role of narcissism, comparison and disclosure. *Journal of Business Research, 159*, Article 113693. https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2023.113693

Keles, B., McCrae, N., & Grealish, A. (2020). A systematic review: The influence of social media on depression, anxiety and psychological distress in adolescents. *International Journal of Adolescence and Youth, 25*(1), 79–93. https://doi.org/10.1080/02673843.2019.1590851

Liu, F., Hou, K., & Dong, Y. (2024). Deep parallel contextual analysis framework-based emotion prediction in community wellness communications on social media. *Heliyon, 10*(11), Article e31626. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31626

Nguyen, T. T., Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2018). Solitude as an approach to affective self-regulation. *Personality and Social Psychology Bulletin, 44*(1), 92–106. https://doi.org/10.1177/0146167217733073

Novotney, A. (2019, May). The risks of social isolation. *Monitor on Psychology, 50*(5), 32. https://www.apa.org/monitor/2019/05/ce-corner-isolation

Pangestu, C., Sujati, H., & Herwin. (2020). Pengaruh self-efficacy dan pengasuhan orang tua terhadap kepercayaan diri siswa. *FOUNDASIA, 11*(1), 35–42. https://doi.org/10.21831/foundasia.v11i1.32600

Schalinski, I., Jozefiak, T., Stenzel, N., Breinlinger, S., Teicher, M. H., & Rockstroh, B. (2024). Childhood maltreatment in patients with mental illness as a risk factor for obesity. *Psychiatry*

Research, 342, Article 116264. https://doi.org/10.1016/j.psychres.2024.116264
Shannon, H., Bush, K., Villeneuve, P. J., Hellemans, K. G. C., & Guimond, S. (2022). Problematic social media use in adolescents and young adults: Systematic review and meta-analysis. *JMIR Mental Health, 9*(4), Article e33450. https://doi.org/10.2196/33450
Shifrer, D., Pappas (Fly), S., Springer, R., & Dinh, X. (2024). School-based health centers and mental health stigma before and during the pandemic. *SSM—Qualitative Research in Health, 6*, Article 100503. https://doi.org/10.1016/j.ssmqr.2024.100503
Triana, R., Keliat, B. A., Wardani, I. Y., Sulistiowati, N. M. D., & Veronika, M. A. (2019). Understanding the protective factors (self-esteem, family relationships, social support) and adolescents' mental health in Jakarta. *Enfermería Clínica, 29,* 629–633. https://doi.org/10.1016/j.enfcli.2019.04.096
Ventriglio, A., Ricci, F., Torales, J., Castaldelli-Maia, J. M., Bener, A., Smith, A., & Liebrenz, M. (2024). Social media use and emerging mental health issues. *Industrial Psychiatry Journal, 33*(Suppl. 1), S261–S264. https://doi.org/10.4103/ipj.ipj_45_24
Zain, A., Sinnathamby, A. S., Ramkumar, A., Chan, S. M., & Biswas, A. (2020). Don't leave me alone! Ethics of quarantine and isolation in young children. *Pediatrics & Neonatology, 61*(6), 573–576. https://doi.org/10.1016/j.pedneo.2020.10.004

INTEGRATED EVALUATION OF GROUNDWATER QUALITY AND SUITABILITY FOR DRINKING AND IRRIGATION IN SOUTHEASTERN MOROCCO: THE FEIJA REGION

Hamid Nadi
Department of Biology, Faculty of Sciences, Ibn Tofail University, Kenitra, Morocco
Hicham Ouhakki
Department of Biology, Faculty of Sciences, Ibn Tofail University, Kenitra, Morocco
Sihame Hafidi
Department of Geology , Faculty of Sciences Semlalia Cadi Ayyad University ,Marrakech ,Morocco
Nabila Auajjar
Department of Geology , Faculty of Sciences Semlalia Cadi Ayyad University ,Marrakech ,Morocco
Naima Dohou
Department of Biology, Faculty of Sciences, Ibn Zohr University, Agadir, Morocco
Khalid Yamni
Department of Natural Sciences and Didactic Innovation Team, Regional Centre for Education and Training, Rabat-Salé-Kénitra, Morocco
Moulay Laarbi Ouahidi
Department of Biology, Faculty of Sciences, Ibn Tofail University, Kenitra, Morocco

Abstract

This study aimed to assess the influence of phytosanitary products on surface and groundwater quality in the Feija region of southeastern Morocco, an area characterized by intensive agricultural activities. A multidisciplinary approach combining field investigations, water sampling, laboratory analyses, and surveys conducted with farmers and agricultural input retailers was adopted. Water samples were collected monthly throughout the study period from different locations, including rivers, agricultural wells, and irrigation canals. Laboratory analyses focused on the detection of pesticide residues, including herbicides, fungicides, insecticides, and acaricides.

The study also investigated the effects of agricultural intensification and climate change on water resources. Geographic Information System (GIS) tools were used to spatially assess groundwater quality and its suitability for domestic and agricultural purposes, based on seasonal variations in physicochemical and bacteriological parameters. In addition, a reliable analytical approach was applied to detect and quantify pesticide residues in eight groundwater wells monitored between 2024 and 2025. Advanced statistical methods were subsequently used to evaluate the relationships between pesticide occurrence, groundwater quality, and agricultural practices.

The results revealed the presence of several phytosanitary compounds in groundwater, including fungicides, herbicides, acaricides, and insecticides. However, the statistical analyses indicated no significant relationship between groundwater quality and the use of phytosanitary products in the Feija area. The Feija aquifer exhibits considerable geological and hydrochemical heterogeneity, with Plio-Quaternary formations of variable thickness. Different groundwater chemical facies were identified, including calcium-bicarbonate, sodium-chloride, calcium- and magnesium-chloride-sulfate facies. These hydrochemical characteristics reflect the combined

influence of natural geological conditions and anthropogenic activities on groundwater quality. Overall, the findings provide valuable insights into the current status of groundwater resources in the Feija region and highlight the importance of continuous monitoring and integrated water-resource management under increasing agricultural pressure and climatic variability.

Keywords: Groundwater quality; Pesticide residues; Phytosanitary products; Agricultural pollution; Feija aquifer; GIS.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

OVERVIEW AND EPIDEMIOLOGY OF NON-TUBERCULOUS MYCOBACTERIA ISOLATED FROM WILD ANIMALS IN AFRICA

BELLIL Dassine
GHAROUT-SAIT Alima
DJOUDI Ferhat
BELLIL Zahra
MENDIL Ouidad
MANSEUR Lyticia
Université de Bejaia, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Laboratoire d'Ecologie Microbienne, 06000 Bejaia, Algérie.
DIB-SAIT Sabrina
Université de Bejaia, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Laboratoire de Biochimie Biophysique Biomathématique et Scientométrie, 06000 Bejaia, Algérie.

Abstract
INTRODUCTION: Non-tuberculous mycobacteria (NTM) represent a group of significant pathogens with a global distribution in wildlife. Their presence at the interface between livestock and wild animals is of particular concern, as wildlife species can act as reservoirs, facilitating transmission to domestic cattle and potentially humans. These dynamic underscores the importance of monitoring NTM as a key One Health issue.
OBJECTIVE: This study aimed to conduct a comprehensive assessment of the reported prevalence and temporal trends of NTM in wildlife across African countries over a 15-year period from 2010 to 2025.
METHODOLOGY: We performed a systematic review of the scientific literature on NTM epidemiology in African wildlife. Data were retrieved from electronic databases, including PubMed, ScienceDirect, and African Journals Online (AJOL), and subsequently compiled and analyzed.
RESULTS: The systematic review identified a validated dataset comprising 57 distinct occurrence reports of NTM across a range of wild animal species in Africa. From a total of 3,384 animal observations, 706 confirmed NTM cases were identified, yielding an aggregate prevalence of 20.8% across the studied wildlife populations during the 2010-2025 period.
CONCLUSION: Our analysis confirms the environmental endemicity of NTM and establishes that wildlife populations in Africa constitute a significant reservoir. Furthermore, multivariable statistical analyses demonstrated a significant association between NTM detection and clinical disease in animals, reinforcing the veterinary and ecological importance of these pathogens.
Keywords: *Mycobacterium* non-tuberculosis, wild animals, review, Africa.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

KNOWLEDGE, ATTITUDES, AND PRACTICES REGARDING CARDIOPULMONARY RESUSCITATION AMONG HEALTHCARE PROFESSIONALS IN MARRAKECH, MOROCCO: A CROSS-SECTIONAL STUDY OF ASSOCIATED FACTORS

EL KAMMAA Ahmed
Cadi Ayyad University, Faculty of Medicine and Pharmacy, Morpho-Science Research Laboratory, 40000, Marrakech, Morocco
BENKSIM Abdelhafid
Regional Health Directorate, Higher Institute of Nursing Professions and Health Techniques, Laboratory of Health Sciences, Environment and Innovation, 40000, Marrakech, Morocco
ABOU ELHASSAN Taoufik
Cadi Ayyad University, Faculty of Medicine and Pharmacy, Morpho-Science Research Laboratory, 40000, Marrakech, Morocco
NEJMI Hicham
Cadi Ayyad University, Faculty of Medicine and Pharmacy, Morpho-Science Research Laboratory, 40000, Marrakech, Morocco

Abstract

***Background*:** Cardiovascular disease and cardiac arrest are major causes of death worldwide. Early cardiopulmonary resuscitation performed by competent healthcare professionals is essential for survival. However, data on their knowledge, attitudes, and practices regarding cardiopulmonary resuscitation remain limited in the Marrakech prefecture.

***Objective*:** Assess the knowledge, attitudes, and self-reported CPR practices of healthcare professionals in four types of healthcare facilities in the Marrakech prefecture and identify the factors associated with adequate and inadequate self-reported CPR practices.

***Methods*:** A quantitative cross-sectional study was conducted among 331 physicians and nurses. Data were collected using a questionnaire comprising four sections (sociodemographic, knowledge, attitudes, and self-reported CPR practices), administered in both paper and online formats, and analysed using a descriptive and analytical approach.

***Results*:** Negative perceptions of cardiopulmonary resuscitation were significantly associated with insufficient knowledge (Odds Ratio = 3.46, 95% Confidence Interval: 1.46–8.21), while adequate knowledge was linked to better self-reported CPR practices (Odds Ratio = 2.78, 95% Confidence Interval: 1.62–4.79). Healthcare professionals trained in CPR within the last two years were four times more likely to have adequate self-reported CPR practices (Odds Ratio = 4.08, 95% Confidence Interval: 1.24–13.36). In addition, nurse anaesthetists had significantly better self-reported CPR practices than other participants (Odds Ratio = 6.10, 95% Confidence Interval: 1.65–22.56).

***Conclusion*:** Recent training was significantly associated with better self-reported CPR practices, along with professional profile and clinical setting, while suboptimal results were observed in certain departments. These results underscore the importance of regularly updating healthcare professionals' knowledge and skills to optimize the management of cardiac arrests.

Keywords
Cardiopulmonary resuscitation (CPR), knowledge, attitudes, self-reported CPR practices, healthcare professionals, Associated factors

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

KNOWLEDGE AND PRACTICE OF PERSONAL HYGIENE TOWARDS CHOLERA PREVENTION AND CONTROL AMONG RESIDENTS OF OSIN COMMUNITY, ILORIN WEST LGA, KWARA STATE

Kafayah . A. jiddah
Barakah . A. Masuud
Department of Health Promotion and Environmental Health Education,
University of Ilorin, Ilorin, Nigeria.

BACKGROUND:
Cholera is an acute diarrheal infection caused by consuming food or water contaminated with *Vibrio cholerae.* It remains a global public health threat that reflects inequalities in water, sanitation, and hygiene. Access to safe water, basic sanitation and hygiene is essential to prevent cholera and other waterborne diseases (WHO, 2023). Most cases are mild and treated with ORS, but severe cases require IV fluids and antibiotics. Personal hygiene plays a critical role in prevention and control (WHO, 2023).

OBJECTIVES:
To i. assess the knowledge of personal hygiene for cholera prevention among residents of Osin Community; ii. identify common personal hygiene practices among residents; iii. examine the relationship between hand washing with soap and cholera prevention; iv. determine the relationship between environmental cleanliness and cholera control; v. assess the relationship between safe water handling and storage and cholera prevention; and vi. recommend evidence-based measures for cholera prevention and control in the study area.

METHODS:
This study adopted a descriptive cross-sectional survey design. A total of 200 respondents were selected using simple random sampling technique. 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 findings revealed that 66.0% bathed twice daily and 59.0% practiced regular hand washing with soap. Other practices included use of clean drinking water 51.0%, proper waste disposal 47.5%, and nail cutting 43.5%. There was a significant relationship between hand washing with soap and cholera prevention (χ^2 cal = 45.23 > χ^2 crit = 3.84, df = 1, $p < 0.05$). Respondents who practiced effective hand washing had better cholera prevention 88.0% vs 27.0%. There was a significant relationship between environmental cleanliness and cholera control (χ^2 cal = 33.67 > 3.84, $p < 0.05$). Areas with good cleanliness had fewer cases 80.0% vs 24.8%. There was also a significant relationship between safe water handling and cholera prevention (χ^2 cal = 28.50 > 3.84, $p < 0.05$). 72.5% had good knowledge of hand washing and safe water handling and storage as cholera prevention (χ^2 cal = 10.42 > 3.84, df = 1, $p < 0.05$)

CONCLUSION:
The study concluded that knowledge and practice of personal hygiene significantly contribute to cholera prevention and control among residents of Osin Community, Ilorin West LGA, Kwara State.

RECOMMENDATIONS:

Government should provide pipe-borne water; Government and NGOs should intensify health education on personal hygiene; and community leaders should organize regular sanitation exercises for proper waste disposal.

Keywords: Knowledge, Practice, Personal Hygiene, Cholera, Prevention, Control

PROBIOTICS AS NATURAL DEFENDERS OF HUMAN HEALTH

Janani.S.S
Students,Faculty of Pharmacy,Bharath Institute of Higher Education and Research, Selaiyur, Chennai,Tamil Nadu,
orcid.org/0009-0002-7841-7298
0009-0004-7671-4533
Preethi.B
Students,Faculty of Pharmacy,Bharath Institute of Higher Education and Research, Selaiyur, Chennai,Tamil Nadu,
orcid.org/0009-0002-7841-7298
0009-0004-7671-4533
Jayaramakani.N
Assistant Professor, Faculty of Pharmacy, Bharath Institute of Higher Education and Research, Selaiyur,Chennai, Tamil Nadu, India.
0000- 0003 -2907-8576
Dr.R.Srinivasan
Dean and Professor, Faculty of Pharmacy, Bharath Institute of Higher Education and Research, Selaiyur,Chennai, Tamil Nadu, India
0000-0002-1931-3328

Abstract

Probiotics are live beneficial microorganisms that contribute to human well-being by preserving the balance of microorganisms naturally present in the body. In addition to supporting digestive functions, these microorganisms are being investigated for their possible contributions to immune system regulation, metabolic health, and defence against disease-causing microbes. Common probiotic groups include Lactobacillus and Bifidobacterium. They may protect intestinal health by maintaining the gut barrier, competing with harmful microbes for nutrients and binding sites, and producing compounds that restrict the growth of certain pathogens.This study aims to examine the health-protective properties of probiotics and their possible applications in preventive medicine and pharmaceutical research. The proposed methodology involves analysing existing scientific publications concerning probiotic strains, their biological activities, health benefits, and limitations. Special emphasis is placed on the relationship between probiotics and the gut microbiota, which contributes to digestion, immune function, and the maintenance of a healthy intestinal environment. Research indicates that certain probiotic strains may help reduce the risk of specific forms of antibiotic-associated diarrhoea and support gastrointestinal well-being. However, their benefits vary according to the microbial strain, administered dose, and health status of the individual.Modern pharmaceutical approaches, such as microencapsulation and targeted delivery techniques, are being developed to enhance probiotic stability and protect microorganisms during their journey through the digestive system. Nevertheless, differences in strain effectiveness, manufacturing quality, storage stability, and safety for vulnerable populations remain important concerns. In conclusion, probiotics offer a promising supportive strategy for maintaining microbial equilibrium and promoting natural protective functions. Further scientific investigation and improved formulation techniques may strengthen their applications in personalized nutrition

and pharmaceutical healthcare.

Keywords

Probiotics , Gut Microbiota ,Immune Modulation, Intestinal Health , Pathogen Inhibition ,Microencapsulation, Pharmaceutical Applications.

ROLE OF LACTOBACILLUS IN GUT MICROBIOTA

Preethi.B
Janani.S.S
Ragul.R
Elavarasi
Jaya raj.K
Desiga mani.A
David.G
Students,Faculty of Pharmacy,Bharath Institute of Higher Education and Research, Selaiyur, Chennai,Tamil Nadu,
orcid.org/0009-0002-7841-7298
0009-0004-7671-4533
Jayaramakani.N
Assistant Professor, Faculty of Pharmacy, Bharath Institute of Higher Education and Research, Selaiyur,Chennai, Tamil Nadu, India.
0000- 0003 -2907-8576
Dr.R.Srinivasan
Dean and Professor, Faculty of Pharmacy, Bharath Institute of Higher Education and Research, Selaiyur,Chennai, Tamil Nadu, India
0000-0002-1931-3328

Abstract

The gut is a dynamic microbial ecosystem in which billions of microorganisms interact continuously with the host and with one another. Within this ecosystem, Lactobacillus represents an important group of beneficial bacteria that can influence microbial stability and intestinal function. Rather than acting only as “good bacteria,” different Lactobacillus strains communicate with the gut environment through fermentation products, antimicrobial compounds, and interactions with intestinal cells.

During carbohydrate fermentation, Lactobacillus produces lactic acid and other metabolites that can modify the intestinal environment and influence the growth of neighbouring microorganisms. Certain strains also produce bacitracin’s and other bioactive substances that contribute to microbial competition. Their interaction with intestinal epithelial cells may support the gut barrier, while communication with immune cells can influence local immune responses. These activities demonstrate how Lactobacillus can participate in maintaining a balanced relationship between the microbiota and the host.

The role of Lactobacillus is not identical for every species or strain. Its effects may depend on diet, age, lifestyle, existing microbiota, and individual health conditions. This strain-specific nature has encouraged increasing interest in precision probiotics and microbiome-based approaches. Research is also exploring how Lactobacillus metabolites and microbial interactions could be utilized beyond conventional probiotic supplementation. Understanding these complex relationships provides opportunities for developing innovative strategies to support gastrointestinal health. Thus, Lactobacillus can be viewed as an active microbial partner within the gut ecosystem, contributing to microbial balance, intestinal barrier function, and host-microbe Communication.

Keywords

Lactobacillus, Gut Microbiota, Probiotics, Intestinal Health, Microbial Balance, Gut Barrier, Host-Microbe Interaction

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

QUANTUM MECHANICAL STUDIES AND MONTE CARLO SIMULATIONS ON THE CORROSION INHIBITIVE POTENTIALS OF SOME IMIDAZOLE DERIVATIVES

T. O. Esan
K. E Ajibulu
O. L., Adebayo
I. Osasona
A.D Olanipekun
[a]*Department of Chemical sciences, Bamidele Olumilua University of Education, Science and Technology, Ikere,- Ekiti, Ekiti State, Nigeria*

Abstract:
Experimental methods have been used to clarify the corrosion inhibition mechanism, they are frequently expensive and time-consuming, which makes the search for further options necessary. The efficient application of theoretical modeling techniques that properly correlate the inhibitors' inhibitory efficacy with their molecular structures and properties has been made possible by the advancement of computer software and hardware. The anti-corrosion potentials of three imidazole derivatives were investigated using the density functional theory (DFT) approach and Monte Carlo (MC) simulation. The energies of the frontier molecular orbitals (FMOs) like the lowest unoccupied molecular orbital energy (ELUMO), highest occupied molecular orbital energy (EHOMO), energy gap (Eg), number of transferred electrons (ΔN), and other reactivity descriptors were computed at DFT/B3LYP/6-31G(d) level of theory. The energy band gaps were as follows: A, 4.50 eV, B, 4.28 eV, and C, 4.23 eV; C > B > A. This suggests that molecules C and B would be more effective at preventing rusting on metal surfaces than A. The active adsorption sites were discovered to be on heteroatom molecules (nitrogen and sulfur), according to Fukui index values. Molecule (A) was found to be the least adsorbed when compared to the other derivatives, and the results of calculating the adsorption energies showed that the more negative -13719.09kcal/mol (C), -13039.52kcal/mol(B) and -13032.45kcal/mol(A) C > B > A. values indicates that the compounds are strongly bound onto the surface of Fe through covalent bonding which follows the mechanism of Chemical adsorption.
Keywords: Density functional theory, Monte Carlo Simulation, Imidazole Quantum and Fukil funtions.

THE MANIFESTATION OF WORLDWIDE PHARMACY PROFESSION IN TRANSITION: A CRITICAL SCIENTIFIC ASSESSMENT OF PROFESSIONAL RECONFIGURATION, PATIENT-CENTERED CARE, MEDICINAL TECHNOLOGY, HUMAN-CAPITAL CAPACITY, HEALTH-SYSTEM COLLABORATION, AND LONG-TERM OCCUPATIONAL PROSPECTS

Nodar Sulashvili
Nato Alavidze
Ia Egnatievi
Manana Giorgobiani
Mzia Tsiklauri
Marika Sulashvili
Igor Seniuk
Ketevani Gabunia
Tamar Okropiridze
David Aphkhazava

1. MD, PhD, Doctor of Theoretical Medicine In Pharmaceutical and Pharmacological Sciences, Affiliated 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; Professor of Medical Pharmacology and Clinical Pharmacology of International School of Medicine at Alte University; Professor of Medical Pharmacology of Faculty of Medicine at Sulkhan-Saba Orbeliani University, Associate Professor of Pharmacy Program at Shota Meskhia Zugdidi State University; Associate Professor of Medical Pharmacology at School of Medicine at David Aghmashenebeli University of Georgia; Associate Professor of Biochemistry and Pharmacology Direction at the University of Georgia, School of Health Sciences; Associate Professor of Pharmacology of Faculty of Medicine at East European University, Associate Professor of Pharmacology of Faculty of Dentistry and Pharmacy at Tbilisi Humanitarian Teaching University; Invited Lecturer (Professor) of Scientific Research-Skills Center at Tbilisi State Medical University, Tbilisi, Georgia; Former Scientific Researcher and Clinical Pharmacologist of London Lewisham University Hospital, London, England, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland; Orcid https://orcid.org/0000-0002-9005-8577;
2. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor of Akaki Tsereteli State University, Faculty of Medicine, Department of Stomatology and Pharmacy, Kutaisi, Georgia. Professor, Dean Faculty of Medicine at East European University, Tbilisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0001-6695-5924
3. **MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor of** David Aghmashenebeli University of Georgia, Dean Faculty of Medicine at David Aghmashenebeli University of Georgia. Tbilisi, Georgia.
4. **MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor of** David Aghmashenebeli University of Georgia, Head of The Medical Education Study Program; Tbilisi, Georgia.
5. PhD, Affiliated Professor of the Medical Programs of Gr.Robakidze University, Microbiology, Immunology, Virology, Infection Control. Invited Professor of the Medical Programs of Alte University, Tbilisi, Georgia. Invited Professor of the Medical Programs of Caucasus International University, Laboratory Medicine, Tbilisi, Georgia. Member of the

Georgian Immunologists Association; Member of the Accreditation Council of the Quality Development, Center of the Ministry of Education of Georgia, Tbilisi, Georgia.
6. MD, Doctor of Family Medicine, Invited Professor of Biochemistry at The University of Georgia; Invited Lecturer (Invited Professor) of Tbilisi State Medical University, Lecturer of Department of Molecular and Medical Genetics, Tbilisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0002-6338-4262
7. PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Dean of faculty of Pharmacy at National University of Pharmacy of Ukraine, Associate Professor of Biological Chemistry Department at National University of Pharmacy, Kharkiv, Ukraine. https://orcid.org/0000-0003-3819-7331
8. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor of Akaki Tsereteli State University, Faculty of Medicine, Department of Stomatology and Pharmacy, Kutaisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0002-5857-6593;
9. MD, PhD, Doctor Medical Sciences, Professor of the Division of Dentistry of International School of Medicine at Alte University; Invited Professor of Dentistry of Department of The School of Health Sciences at The University of Georgia; Tbilisi, Georgia.
10. PhD, Doctor of Biological Sciences, Professor of Biochemistry at Alte University, Professor of Biochemistry at University of Georgia, Professor of Biochemistry at Georgian National University SEU, Invited Lecturer (Professor) of Biophysics and Microbiology, Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia. Orcid: https://orcid.org/0000-0001-6216-6477

Keywords: Global pharmacy profession; pharmaceutical care; clinical pharmacy practice; healthcare integration; workforce sustainability.

ABSTRACT:
Pharmacy is undergoing a profound international transformation as advances in biomedical science, pharmaceutical technologies, digital health, precision therapeutics, demographic change, and evolving healthcare expectations redefine the scope and responsibilities of pharmacy professionals. The contemporary pharmacist is increasingly positioned beyond the traditional functions of medicine procurement, preparation, and dispensing and is becoming an active contributor to clinical decision-making, medication optimization, preventive healthcare, pharmacotherapy management, patient education, public health, and interprofessional care. This transformation requires a reassessment of professional competencies, educational structures, workforce models, regulatory frameworks, and institutional mechanisms governing pharmacy practice. The present scientific discourse examines the multidimensional evolution of the global pharmacy profession through an integrated consideration of clinical practice, pharmaceutical innovation, workforce capacity, healthcare-system collaboration, professional education, technological modernization, and strategic development. Particular attention is directed toward the expanding contribution of pharmacists to medication safety, pharmacovigilance, antimicrobial stewardship, chronic disease management, therapeutic monitoring, personalized pharmacotherapy, adherence improvement, and reduction of preventable medication-related harm. The analysis further considers the influence of artificial intelligence, digital decision-support systems, pharmacogenomics, automation, advanced drug-delivery platforms, biotechnology, and data-driven healthcare on the future configuration of pharmaceutical practice. These developments create substantial opportunities for improving therapeutic outcomes and strengthening health-system efficiency, but they also introduce challenges involving professional role definition, competency gaps, workforce distribution,

technological governance, ethical responsibility, regulatory adaptation, and equitable access to pharmaceutical services. Sustainable advancement of the profession therefore requires coordinated investment in advanced pharmacy education, competency-based professional development, interdisciplinary practice, research capacity, digital literacy, leadership, and evidence-informed regulation. Workforce sustainability should be understood not solely in terms of numerical staffing but also through professional well-being, appropriate utilization of pharmacists' expertise, career progression, geographic distribution, and adaptation to changing healthcare demands. A future-oriented pharmacy model should consequently integrate scientific knowledge, clinical expertise, technological capability, ethical practice, and patient-centered care within a coherent professional framework. Strengthening pharmacists' participation in multidisciplinary healthcare teams may enhance medication-use quality, improve continuity of care, support population health objectives, and promote more rational allocation of healthcare resources. The future of pharmacy will depend on the profession's capacity to continuously redefine its clinical and scientific identity while maintaining its fundamental commitment to the safe, effective, equitable, and responsible use of medicines. Strategic transformation should therefore be regarded as an ongoing process through which pharmacy evolves from a predominantly product-oriented discipline toward an increasingly integrated, knowledge-intensive, clinically accountable, and globally responsive healthcare profession.

INTRODUCTION:

The pharmacy profession is undergoing a profound transformation in response to rapid advances in healthcare delivery, pharmaceutical sciences, digital technologies, demographic changes, and the growing demand for patient-centered care. Pharmacists have evolved from traditional dispensers of medicines into integral members of multidisciplinary healthcare teams, assuming expanded responsibilities in medication therapy management, clinical decision-making, pharmacovigilance, chronic disease management, preventive healthcare, public health promotion, precision medicine, and evidence-based pharmaceutical care. These global developments necessitate the continuous modernization of pharmacy education, professional competencies, regulatory frameworks, workforce planning, and healthcare integration. The present study provides an evidence-based analysis of the contemporary redefinition of the global pharmacy profession by examining clinical excellence, pharmaceutical innovation, workforce sustainability, healthcare integration, and future strategic development while identifying the principal challenges and opportunities affecting pharmacists worldwide. The research was designed as a comprehensive quantitative and analytical investigation employing standardized questionnaires, structured interviews, comparative analysis, descriptive statistics, regression modeling, and inferential statistical methods. Data were collected from 3,888 respondents, including chief pharmacists, practicing pharmacists, pharmacy students, healthcare professionals, and patients, thereby enabling a multidimensional evaluation of pharmaceutical practice, educational preparedness, professional satisfaction, career development, healthcare collaboration, and public expectations. Statistical analyses were conducted using the Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), with significance established at $p < 0.05$. The findings demonstrate that pharmacists are increasingly recognized as essential healthcare providers whose professional responsibilities extend well beyond medication dispensing. Respondents emphasized the growing importance of pharmaceutical care, medication safety, patient counseling, pharmacotherapy optimization, evidence-based decision-making, interdisciplinary collaboration, and continuous professional development.

Professional competency, communication skills, ethical responsibility, and lifelong learning emerged as fundamental attributes required for modern pharmacy practice. Most participants supported mandatory pharmacist certification, continuing professional education, competency-based accreditation, and stronger governmental regulation to ensure high-quality pharmaceutical services and patient safety. Furthermore, the study revealed substantial expectations regarding improvements in pharmacists' professional status, remuneration, workplace conditions, career advancement opportunities, flexible working environments, and institutional recognition within healthcare systems. The results also highlighted persistent challenges, including workforce shortages, insufficient practical training, disparities between academic preparation and labor market requirements, limited professional autonomy, inadequate interprofessional collaboration, and unequal access to continuing education, all of which may compromise healthcare quality and workforce sustainability. The study further demonstrates that pharmaceutical innovation—including digital health technologies, artificial intelligence, telepharmacy, clinical decision-support systems, personalized medicine, pharmacogenomics, real-world evidence, and integrated pharmaceutical information systems—is reshaping the competencies expected of future pharmacists. Consequently, pharmacy curricula should increasingly emphasize clinical pharmacology, evidence-based medicine, health informatics, research methodology, communication, leadership, quality improvement, and interprofessional education to prepare graduates for rapidly evolving healthcare environments. Strengthening collaboration among universities, healthcare institutions, professional organizations, regulatory authorities, and policymakers will be essential for developing resilient pharmaceutical workforces capable of addressing emerging global health challenges. The redefining the global pharmacy profession requires coordinated international strategies that integrate educational excellence, professional competency, scientific innovation, regulatory modernization, workforce sustainability, digital transformation, and patient-centered healthcare delivery. Establishing competency-based educational standards, expanding postgraduate and lifelong professional development programs, strengthening pharmacist certification and licensure systems, improving workforce policies, and promoting interdisciplinary collaboration will significantly enhance pharmaceutical care quality and healthcare outcomes worldwide. These findings provide valuable evidence for educators, healthcare administrators, policymakers, professional associations, and regulatory authorities seeking to strengthen the pharmacy profession and ensure its continued contribution to safe, effective, equitable, and sustainable healthcare systems in the twenty-first century.

The global healthcare landscape has undergone unprecedented transformation during the past two decades, driven by scientific innovation, demographic transitions, epidemiological shifts, digital health technologies, and increasing demands for high-quality, patient-centered healthcare services. Within this evolving environment, the pharmacy profession has experienced one of the most significant paradigm shifts among healthcare disciplines. Traditionally recognized as experts in the preparation and dispensing of medicines, pharmacists have progressively assumed broader responsibilities encompassing pharmaceutical care, medication therapy management, clinical pharmacotherapy, public health promotion, disease prevention, health education, pharmacovigilance, precision medicine, and interdisciplinary clinical decision-making. Consequently, pharmacists have become indispensable members of modern healthcare systems, contributing directly to improved therapeutic outcomes, medication safety, healthcare efficiency, and patient quality of life.

The contemporary concept of pharmaceutical care extends beyond the technical provision of medicines to include comprehensive patient-centered clinical services that ensure the safe,

effective, rational, and economical use of medications. Pharmaceutical care emphasizes individualized treatment planning, medication review, prevention of medication-related problems, optimization of pharmacotherapy, patient counseling, adherence monitoring, and collaboration with physicians, nurses, and other healthcare professionals. This transformation reflects the global movement toward integrated healthcare systems in which pharmacists actively participate in disease prevention, chronic disease management, vaccination programs, antimicrobial stewardship, medication reconciliation, pharmacoeconomic evaluation, and evidence-based therapeutic decision-making.

The International Pharmaceutical Federation (FIP), the World Health Organization (WHO), and numerous national regulatory authorities have consistently emphasized that pharmacists must possess advanced scientific knowledge, clinical competence, ethical responsibility, communication skills, leadership abilities, and lifelong learning capacities to meet the expanding expectations of contemporary healthcare systems. Pharmacists are increasingly recognized not merely as dispensers of medications but as medication experts capable of optimizing therapeutic regimens, preventing adverse drug reactions, improving medication adherence, identifying drug-related problems, and reducing healthcare expenditures through rational medicine use. These expanded professional responsibilities require corresponding changes in pharmacy education, competency assessment, workforce planning, accreditation systems, and healthcare legislation.

The rapid advancement of pharmaceutical sciences has fundamentally altered both the educational preparation and professional practice of pharmacists. Novel therapeutic agents, biotechnology-derived medicines, gene therapies, biosimilars, personalized medicine, pharmacogenomics, nanomedicine, artificial intelligence, machine learning, electronic prescribing, telepharmacy, digital therapeutics, and clinical decision-support systems have considerably increased the complexity of pharmaceutical practice. Modern pharmacists must therefore integrate sophisticated scientific knowledge with clinical reasoning, technological literacy, evidence appraisal, and patient communication skills while maintaining high ethical standards and professional accountability.

Simultaneously, demographic changes including population aging, increasing prevalence of chronic non-communicable diseases, multimorbidity, and polypharmacy have substantially expanded pharmacists' responsibilities. Older adults frequently receive multiple medications prescribed by different healthcare providers, increasing the risks of adverse drug reactions, medication errors, therapeutic duplication, inappropriate prescribing, and poor treatment adherence. Pharmacists play an increasingly important role in identifying these risks through medication reviews, pharmacotherapy optimization, deprescribing interventions, patient education, and collaborative healthcare management. Consequently, pharmacists have become essential contributors to healthcare quality improvement and patient safety initiatives worldwide.

The COVID-19 pandemic further highlighted the indispensable contribution of pharmacists within healthcare systems. Throughout the pandemic, pharmacists ensured uninterrupted medicine supply chains, participated in vaccination campaigns, educated patients regarding preventive measures, monitored medicine shortages, addressed misinformation, supported antimicrobial stewardship, and maintained pharmaceutical care despite unprecedented healthcare challenges. Community pharmacists frequently served as the first healthcare professionals accessible to patients, reinforcing their critical public health role. These experiences accelerated global recognition of pharmacists as frontline healthcare providers and strengthened calls for broader professional integration into healthcare policy and emergency

preparedness planning.

The evolution of pharmacy practice has also been accompanied by substantial reforms in pharmacy education. Contemporary pharmacy curricula increasingly emphasize competency-based education, clinical reasoning, experiential learning, simulation-based training, interprofessional education, evidence-based medicine, pharmaceutical research, healthcare informatics, communication sciences, ethics, leadership, and quality improvement. Educational institutions are expected to prepare graduates who possess not only scientific expertise but also critical thinking abilities, research competencies, adaptability, digital literacy, and leadership capabilities required for rapidly changing healthcare environments. Continuous professional development (CPD) has become an essential component of professional competency maintenance throughout pharmacists' careers.

Despite remarkable advances, the pharmacy profession continues to encounter numerous challenges that threaten workforce sustainability and professional development. Many countries experience shortages of qualified pharmacists, unequal workforce distribution, increasing occupational stress, burnout, inadequate remuneration, limited career progression opportunities, and insufficient recognition by healthcare systems, regulatory inconsistencies, and disparities in educational quality. Furthermore, rapid technological innovation demands continuous updating of professional knowledge and competencies, requiring pharmacists to engage in lifelong education while adapting to evolving healthcare policies and patient expectations.

Healthcare workforce sustainability has therefore emerged as one of the most important priorities in pharmaceutical policy. Sustainable pharmaceutical workforce development requires comprehensive strategies encompassing high-quality education, competency-based certification, effective workforce planning, professional regulation, attractive working environments, equitable compensation, leadership development, mentoring systems, and continuous educational opportunities. Professional satisfaction, organizational support, psychological well-being, flexible employment models, and career advancement opportunities substantially influence pharmacists' retention, productivity, and quality of pharmaceutical care.

Another important dimension of contemporary pharmacy practice is healthcare integration. Effective patient care increasingly depends upon multidisciplinary collaboration among physicians, pharmacists, nurses, dentists, laboratory specialists, and public health professionals. Interprofessional communication facilitates safer prescribing practices, minimizes medication errors, improves chronic disease management, enhances patient adherence, and supports evidence-based therapeutic decision-making. Healthcare systems that successfully integrate pharmacists into multidisciplinary clinical teams consistently demonstrate improved patient outcomes, reduced hospital admissions, lower healthcare expenditures, and greater patient satisfaction.

Evidence-based medicine (EBM) has become the scientific foundation supporting modern pharmaceutical practice. Pharmacists are expected to critically evaluate clinical evidence, interpret systematic reviews and meta-analyses, assess clinical guidelines, apply pharmacoeconomic principles, and incorporate real-world evidence into patient care. Evidence-based pharmaceutical care enables rational prescribing, minimizes unnecessary healthcare interventions, promotes medication safety, and ensures optimal therapeutic effectiveness. Consequently, research literacy and critical appraisal skills have become indispensable competencies for pharmacy professionals across clinical, academic, industrial, and regulatory settings.

Digital transformation continues to reshape pharmacy practice at an unprecedented pace.

Electronic health records, artificial intelligence, machine learning algorithms, predictive analytics, telepharmacy, mobile health applications, wearable technologies, blockchain systems, automated dispensing technologies, robotic pharmacies, and precision medicine platforms are transforming pharmaceutical services worldwide. While these innovations improve healthcare accessibility, efficiency, and clinical decision-making, they simultaneously require pharmacists to acquire new technological competencies and adapt to rapidly changing professional roles.

Globalization has also influenced pharmaceutical education, healthcare regulation, medicine distribution, and professional mobility. International harmonization initiatives seek to establish standardized competency frameworks, educational accreditation standards, ethical principles, and quality assurance mechanisms that facilitate cross-border professional collaboration while maintaining patient safety. Organizations such as the International Pharmaceutical Federation continue promoting globally recognized competency standards that support workforce mobility and professional excellence.

Within this rapidly evolving context, redefining the pharmacy profession requires comprehensive scientific evaluation of current professional roles, educational systems, workforce challenges, regulatory frameworks, technological innovations, healthcare integration strategies, and future developmental priorities. Understanding these factors is essential for strengthening pharmaceutical services, improving healthcare quality, supporting workforce sustainability, and advancing patient-centered pharmaceutical care.

The present study, entitled "Scientific Discourse on the Redefinition of the Global Pharmacy Profession: An Evidence-Based Analysis of Clinical Excellence, Pharmaceutical Innovation, Workforce Sustainability, Healthcare Integration, and Future Strategic Development," investigates the evolving role of pharmacists within modern healthcare systems. Specifically, the study examines professional competencies, pharmaceutical innovation, educational development, workforce sustainability, interdisciplinary collaboration, healthcare integration, regulatory modernization, and strategic directions for future pharmacy practice. By integrating empirical evidence with contemporary scientific literature, this research aims to provide comprehensive recommendations that support policymakers, educators, healthcare administrators, professional organizations, and pharmacists in strengthening the profession and advancing pharmaceutical care worldwide. This work builds upon a broad survey-based investigation of pharmacists, healthcare professionals, pharmacy students, patients, and pharmacy managers described in the accompanying manuscript.

The modern system of pharmaceutical care is to improve and enhance the life quality of patients, which is promoted by highly skilled professionals in pharmacies, whose competence has been growing along the process of professional development. Pharmacists' specialists should not only be to be capable to use their knowledge and skills gained at the educational institutions, but also should be ready and motivated for the professional self-development, because without qualified pharmaceutical care there is no qualified health care system. Since the scope of drug treatment, pharmacy is one of the most socially significant areas of the state regulation, the sequence of carrying out the reform measures, accumulation of experience, and also smooth introduction and application of new methods become crucial nowadays. For the development of an organizational and functional model of licensing of pharmaceutical activities, pharmacists work can improve the efficiency of public pharmaceutical administration, which has the great relevance, scientific and practical value.

The main objective of the study was to analyze the characteristics of pharmaceutical vocational inquires and challenges in the direction of pharmacists' profession, role, problems, perspectives

and innovations in pharmaceutics and medicine in Georgia. The study was a quantitative investigation and analysis of the characteristics of pharmaceutical vocational inquires and challenges in the direction of pharmacists' profession, role, problems, perspectives and innovations in pharmaceutics and medicine in Georgia by using questionnaires. Were conducted a survey study. The in-depth interview method of the respondents was used in the study. The 7 types of approved questionnaires were used (Respondents were randomly selected): Questionnaire for chief pharmacists: 410 chief pharmacists participated in the study. Questionnaire for patients: 1506 patients (customers of drug-stores) participated in the study. Questionnaire for the employed pharmacy faculty-student: 222 employed pharmacy faculty students participated in the study. Questionnaire for health-care specialists: 307 public health specialists participated in the study. Questionnaire for pharmacist specialists, 810 pharmacist specialists participated in the study. Were used methods of systematic, sociological (surveying, questioning), comparative, mathematical-statistical, graphical analysis. The data were processed and analyzed with the SPSS program. We conducted descriptive statistics and regression analyses to detect an association between variables. Statistical analysis was done in SPSS version 11.0. A Chi-square test was applied to estimate the statistical significance and differences. We defined $p< 0.05$ as significant for all analyses.

In the pharmacy field, an increase of negative trends, such as poor mechanisms of interaction between professional education and the pharmaceutical market, a slow adaptation of graduates to the market reality is being observed. A difference between the increasing demands of the patients' and the level of specialists' knowledge, as well as adaptation to market reality can affect the process of professional development of pharmacists and the quality of pharmaceutical care in general. The mentioned trends, as well as the pharmacists' professionals' increasing role and responsibility in the health care system, make the necessity to analyze the current practical experience and evaluate the theoretical background of the specialists' development, as well as identify new contributing factors for their development as professional pharmacist practitioners. The main objective of the study was to analyze the characteristics of pharmaceutical vocational inquires and challenges in the direction on pharmacists' profession, role, problems, perspectives and innovations in pharmaceutics and medicine in Georgia. The study was a quantitative investigation and analysis of the characteristics of pharmaceutical vocational inquires and challenges in the direction on pharmacists' profession, role, problems, perspectives and innovations in pharmaceutics and medicine in Georgia by using questionnaires. Were conducted a survey study. The in-depth interview method of the respondents was used in the study. The 7 types of approved questionnaires were used (Respondents were randomly selected): Questionnaire for chief pharmacists: 410 chief pharmacists participated in the study. Questionnaire for patients: 1506 patients (customers of drug-stores) participated in the study. Questionnaire for the employed pharmacy faculty-student: 222 employed pharmacy faculty students participated in the study. Questionnaire for health-care specialists: 307 public health specialists participated in the study. Questionnaire for pharmacist specialist, 810 pharmacist specialists participated in the study. Were used methods of systematic, sociological (surveying, questioning), comparative, mathematical-statistical, graphical analysis. The data were processed and analyzed with the SPSS program. We conducted descriptive statistics and regression analyses to detect an association between variables. Statistical analysis was done in SPSS version 11.0. A Chi-square test was applied to estimate the statistical significance and differences. We defined $p< 0.05$ as significant for all analyses. According to the study results, the respondents' (public health specialists) majority considered that the pharmacists' functions in a pharmacy consisted in realization of drugs and instruments of medical purpose and

providing information about drugs to the population. Less than half part of the respondents considered it to be in ultimate care about the patients' health and wellness, the drugs dosage and dispensing. About one third part of the public health specialists considered it to be in creation, development, production and sale of drugs, medical devices, instruments for medical purposes and healthcare products. About one third of the health specialists considered the pharmacists to be experts of drugs; about one third of them – to be inform of customers in cost-effectiveness and cost-benefits of drugs, the rest part of them considered that pharmacists help in selection of analogue of drugs. According to that pharmacist job should become regulated and more authorized in health care system. The respondents' pharmacy faculty students' majority had an intention to work by the obtained specialty after graduating university, and about one third of the students - to continue postgraduate studies. In contemporary situation it is very important for pharmacists to have master and also PhD degree in pharmacy. Post graduated pharmaceutical education is significant for the further vocational enhancement, career and professional advancement, pharmacist professional perfection and the next professional success in pharmacy. To obtain more power and authority, much higher status, independence, self-realization, power, economic welfare, professional growth, career advancement the Government and private pharmaceutical companies should increase the salaries of pharmacists and the system of benefits' scheme for the pharmacist employees. The working conditions of pharmacists should be improved; the labor conditions should become more constructive for the pharmacist, providing more beneficial psychological climate within the collective and the possibility of career growth should be accessible to all pharmacists. The pharmacist's work schedule should become more flexible, and the job duration time per week should be reduced on the more effective for pharmacist's labor design. The flexibility will further improve pharmacists' workability and motivation toward the job, and also contribute to improve pharmacists' satisfaction according to the time duration of a job. The level of basic training of pharmacists should be in compliance with the contemporary requirements. The pharmacist should have deep knowledge in pharmacology, in pharmacotherapy, in toxicology, in pharmaceutical care, in clinical pharmacy, in pharmacokinetics, in pharmacodynamics, in basic of medicine and in other pre-clinical and clinical directions. Such knowledge can be obtained only in the higher pharmaceutical education institutions. Therefore, pharmacist working in pharmacy must have only higher pharmaceutical education.

The literature analysis showed that a study of individual aspects of the pharmacists' professional development is directed to elaborating of the necessary requirements to ensure effective pharmaceutical care, postgraduate education, finding strategies for the better management of pharmacist personnel, pharmacists' job satisfaction and issues of their psycho-social adaptation to the emerging market conditions. However, weighable studies aimed at understanding the perspectives of the pharmacist in the career aspect and the ways to provide high-quality pharmaceutical care have not been carried out yet.

An integral part of the state system of measures to implement the rights of citizens for protecting their health, via using the quality pharmaceutical care services. The provision of pharmaceutical care maintenance is significantly dependent on the pharmacist personnel qualifications. In this concern, the professional qualification of drug experts is under the state control and is one of the state regulations objects in regard to the drug-medicine relationship aiming to maintain the competence of expert specialists throughout their careers with the varying requirements for professional quality.

In developed countries and in many developing countries in the pharmacy field there are also state regulations like as in family medicine. A pharmacist, as a family doctor, should have the

higher, post-graduate and consistent education in pharmacy, and also needs to hold the pharmacist license and periodic accreditation by the board of pharmacy (BOP). In the western countries, pharmacists are the specialists with the higher pharmaceutical education who have graduated from the state-recognized and accredited colleges and universities, and only such qualification specialists are allowed to work in the pharmacy. A pharmacy opening permission is issued only the pharmacists who holding higher pharmaceutical education with the pharmacist diploma.

The transformation of pharmacy practice has also been strongly influenced by the growing emphasis on value-based healthcare, where healthcare quality is measured not only by clinical outcomes but also by patient satisfaction, cost-effectiveness, accessibility, and long-term sustainability. Within this framework, pharmacists contribute substantially to optimizing therapeutic outcomes while simultaneously reducing healthcare expenditures through evidence-based medication management, prevention of adverse drug events, promotion of medication adherence, and implementation of pharmaceutical care interventions. Numerous international studies have demonstrated that pharmacist-led interventions significantly reduce hospital admissions, medication errors, emergency department visits, and unnecessary healthcare costs while improving disease control and patients' quality of life.

Medication safety has become one of the most critical priorities in modern healthcare systems. According to the World Health Organization, medication-related harm represents a substantial burden for healthcare systems worldwide, leading to preventable morbidity, mortality, prolonged hospitalization, and increased healthcare expenditure. Pharmacists play a central role in minimizing these risks by identifying potential drug interactions, contraindications, therapeutic duplications, inappropriate prescribing, adverse drug reactions, and medication adherence problems. Their participation in multidisciplinary healthcare teams has consistently been associated with safer prescribing practices, improved pharmacotherapy outcomes, and enhanced patient safety cultures.

The increasing prevalence of antimicrobial resistance (AMR) further underscores the strategic importance of pharmacists within healthcare systems. Irrational antibiotic prescribing, inappropriate self-medication, and poor antimicrobial stewardship have accelerated the emergence of resistant microorganisms, threatening the effectiveness of modern medicine. Pharmacists contribute significantly to antimicrobial stewardship programs by promoting rational antimicrobial use, educating patients regarding appropriate antibiotic therapy, monitoring antimicrobial consumption, supporting physicians in therapeutic decision-making, and participating in surveillance programs. Their expertise in pharmacokinetics, pharmacodynamics, and infectious disease pharmacotherapy positions pharmacists as indispensable professionals in combating global antimicrobial resistance.

The globalization of healthcare has further emphasized the necessity for internationally harmonized pharmacy education standards. Accreditation agencies, regulatory authorities, professional organizations, and higher education institutions increasingly collaborate to establish competency-based educational frameworks that facilitate international workforce mobility while ensuring consistent standards of pharmaceutical care. Standardized educational outcomes enable pharmacists to respond effectively to global public health emergencies, humanitarian crises, emerging infectious diseases, and cross-border healthcare challenges.

Ethical professionalism remains fundamental to the evolving identity of pharmacists. Modern pharmaceutical practice requires adherence to principles of patient autonomy, confidentiality, informed consent, beneficence, non-maleficence, professional integrity, accountability, equity, and social responsibility. Pharmacists routinely encounter complex ethical dilemmas involving

medication accessibility, healthcare resource allocation, end-of-life care, compassionate medicine use, conflicts of interest, and patient confidentiality. Consequently, ethics education has become an indispensable component of pharmacy curricula and continuing professional development.

Another major challenge confronting the pharmacy profession is workforce resilience. The growing complexity of healthcare delivery, increasing administrative responsibilities, workforce shortages, occupational stress, emotional exhaustion, and burnout have adversely affected pharmacists' professional well-being in many countries. Workforce resilience depends upon supportive organizational cultures, appropriate staffing levels, continuing professional development, effective leadership, mental health support, flexible employment policies, competitive remuneration, and opportunities for professional advancement. Sustainable workforce policies are therefore essential for maintaining healthcare quality and ensuring the long-term viability of pharmaceutical services.

The future development of the pharmacy profession will depend upon the successful integration of scientific innovation, educational modernization, digital transformation, healthcare policy reform, workforce sustainability, and patient-centered pharmaceutical care. Governments, universities, healthcare institutions, regulatory authorities, and professional organizations must collaborate to establish evidence-based policies that strengthen pharmacists' competencies, expand clinical responsibilities, promote lifelong professional learning, and improve access to high-quality pharmaceutical services. Investments in education, research, workforce development, technological infrastructure, and regulatory modernization will enable pharmacists to continue serving as essential contributors to healthcare systems worldwide.

Another defining characteristic of contemporary pharmacy practice is the integration of pharmacogenomics and personalized medicine into routine healthcare. Advances in molecular biology, genetics, genomics, and biotechnology have created unprecedented opportunities for individualized therapeutic strategies based on patients' genetic profiles. Pharmacists increasingly participate in interpreting pharmacogenomic test results, recommending individualized medication regimens, predicting adverse drug reactions, optimizing dosage selection, and supporting clinicians in precision medicine initiatives. Consequently, pharmacy education must incorporate genomic sciences, bioinformatics, molecular pharmacology, and precision therapeutics into undergraduate and postgraduate curricula.

Artificial intelligence (AI) and digital healthcare technologies are likewise revolutionizing pharmaceutical practice. AI-assisted clinical decision-support systems, predictive analytics, electronic prescribing, automated dispensing systems, machine learning algorithms, natural language processing, robotic pharmacy systems, blockchain technologies, wearable health devices, and telehealth platforms are transforming medication management processes across healthcare settings. These technological innovations improve workflow efficiency, reduce medication errors, enhance pharmaceutical documentation, facilitate clinical decision-making, and expand access to healthcare services, particularly in rural and underserved communities. However, they also require pharmacists to acquire new digital competencies while maintaining ethical responsibility, patient confidentiality, cybersecurity awareness, and professional accountability.

Telepharmacy has emerged as another innovative pharmaceutical service with considerable global relevance. The rapid expansion of telemedicine during recent years has enabled pharmacists to provide remote pharmaceutical consultations, medication reviews, patient counseling, chronic disease monitoring, and medication adherence support through digital communication platforms. Telepharmacy improves healthcare accessibility for geographically

isolated populations, elderly patients, individuals with disabilities, and communities experiencing shortages of healthcare professionals. Consequently, healthcare systems increasingly recognize telepharmacy as an effective strategy for improving healthcare equity and expanding pharmaceutical services beyond traditional community pharmacy settings.

The pharmaceutical industry has simultaneously experienced remarkable scientific advancement characterized by accelerated drug discovery, biotechnology innovations, biosimilars, advanced drug delivery systems, regenerative medicine, cell and gene therapies, nanopharmaceuticals, and artificial intelligence-assisted pharmaceutical research. Pharmacists working within industrial, regulatory, and research environments contribute to pharmaceutical development, clinical trials, quality assurance, regulatory compliance, pharmacovigilance, and post-marketing surveillance. Therefore, the pharmacy profession encompasses an increasingly diverse range of career pathways extending well beyond conventional community and hospital pharmacy practice.

Professional leadership has become another fundamental determinant of pharmacy workforce development. Effective pharmacy leaders facilitate organizational change, quality improvement, healthcare innovation, interprofessional collaboration, policy implementation, and workforce motivation. Leadership competencies—including strategic planning, healthcare management, communication, negotiation, conflict resolution, ethical decision-making, and change management—are increasingly incorporated into pharmacy education to prepare graduates for managerial and administrative responsibilities within healthcare organizations.

Research competency also represents an essential pillar of professional pharmacy practice. Modern pharmacists are expected not only to utilize scientific evidence but also to generate new knowledge through clinical research, pharmaceutical outcomes research, epidemiological investigations, health services research, pharmacoeconomic analyses, implementation science, and quality improvement initiatives. Research participation enhances professional development while contributing to evidence-informed healthcare policy, clinical guideline development, and pharmaceutical innovation. Accordingly, universities should strengthen research methodology education, biostatistics, scientific writing, and critical appraisal skills throughout pharmacy curricula.

Background

The pharmacy profession has experienced one of the most remarkable transformations in the history of healthcare, evolving from a medicine-oriented discipline into a patient-centered clinical profession that contributes directly to disease prevention, medication safety, therapeutic optimization, and public health. Historically, pharmacists were primarily responsible for the preparation, compounding, dispensing, and distribution of medicines. However, scientific progress, advances in pharmaceutical research, increasing healthcare complexity, demographic transitions, and technological innovation have fundamentally expanded pharmacists' professional responsibilities. Today, pharmacists are recognized internationally as essential healthcare providers who participate actively in medication therapy management, pharmaceutical care, chronic disease management, pharmacovigilance, evidence-based medicine, precision medicine, antimicrobial stewardship, vaccination programs, and multidisciplinary healthcare delivery.

The growing prevalence of chronic diseases, multimorbidity, polypharmacy, antimicrobial resistance, and aging populations has significantly increased the demand for pharmacists'

clinical expertise. Medication-related problems remain a major cause of preventable morbidity, mortality, and healthcare expenditure worldwide, highlighting the importance of pharmacists in ensuring the safe, effective, and rational use of medicines. Through medication review, patient counseling, adverse drug reaction monitoring, medication reconciliation, and collaborative clinical decision-making, pharmacists contribute substantially to improving therapeutic outcomes and reducing medication-related harm.

Simultaneously, rapid advances in pharmaceutical sciences—including biotechnology, pharmacogenomics, nanomedicine, artificial intelligence, digital health technologies, telepharmacy, electronic prescribing, and clinical decision-support systems—have transformed contemporary pharmacy practice. These innovations require pharmacists to continuously update their scientific knowledge, digital competencies, clinical skills, and research capabilities while adapting to evolving healthcare systems and patient expectations. Consequently, pharmacy education has increasingly shifted toward competency-based curricula emphasizing clinical pharmacology, evidence-based medicine, healthcare informatics, leadership, communication, ethics, research methodology, and interprofessional collaboration.

International organizations, including the World Health Organization (WHO) and the International Pharmaceutical Federation (FIP), have consistently emphasized the importance of strengthening pharmaceutical workforce capacity, expanding pharmacists' clinical roles, modernizing pharmacy education, and integrating pharmaceutical services into primary healthcare. Sustainable pharmacy workforce development requires comprehensive strategies addressing education, professional regulation, continuing professional development, workforce planning, digital transformation, healthcare policy, and quality assurance.

Despite substantial progress, the pharmacy profession continues to face numerous global challenges, including workforce shortages, unequal access to pharmaceutical services, insufficient professional recognition, educational disparities, regulatory inconsistencies, rapid technological change, and increasing healthcare demands. These challenges underscore the necessity for evidence-based reforms that strengthen pharmacists' competencies, promote innovation, improve healthcare integration, and ensure workforce sustainability.

Against this background, the present study explores the contemporary redefinition of the global pharmacy profession by examining clinical excellence, pharmaceutical innovation, workforce sustainability, healthcare integration, and future strategic development. By synthesizing current scientific evidence and empirical findings, the study provides a comprehensive understanding of the evolving role of pharmacists and offers evidence-based recommendations for strengthening pharmaceutical practice, improving healthcare quality, and advancing patient-centered pharmaceutical care worldwide.

Over the past two decades, healthcare systems worldwide have increasingly recognized that optimal medication management requires comprehensive collaboration among healthcare professionals. As medicines have become more complex and therapeutic options have expanded, pharmacists have assumed greater responsibility for ensuring medication safety, improving therapeutic effectiveness, minimizing adverse drug reactions, preventing medication errors, and promoting rational medicine use. This transition reflects the broader movement toward integrated, patient-centered healthcare, where pharmacists serve as essential clinical

partners rather than solely providers of pharmaceutical products.

The concept of pharmaceutical care, first introduced as a patient-oriented model of pharmacy practice, has become the cornerstone of contemporary pharmaceutical services. Pharmaceutical care emphasizes individualized medication management, therapeutic monitoring, patient education, medication adherence, and continuous evaluation of treatment outcomes. Numerous international studies have demonstrated that pharmacist-led interventions significantly reduce medication-related hospital admissions, improve chronic disease control, enhance patient satisfaction, and decrease healthcare expenditures. Consequently, healthcare policymakers increasingly advocate expanding pharmacists' clinical responsibilities within hospitals, community pharmacies, ambulatory care settings, and primary healthcare systems.

The COVID-19 pandemic further accelerated the evolution of pharmacy practice and highlighted the indispensable role of pharmacists during global public health emergencies. Pharmacists maintained uninterrupted access to essential medicines, supported vaccine distribution and administration, managed medicine shortages, educated the public regarding infection prevention, participated in pharmacovigilance activities, and ensured continuity of pharmaceutical care despite unprecedented healthcare challenges. These experiences reinforced international recognition of pharmacists as frontline healthcare professionals capable of responding effectively to both routine healthcare needs and public health crises.

In parallel with expanding clinical responsibilities, pharmacy education has undergone significant transformation. Contemporary educational programs increasingly emphasize competency-based learning, experiential education, simulation training, evidence-based medicine, pharmaceutical research, clinical communication, leadership development, healthcare informatics, and interprofessional collaboration. Universities are expected to prepare graduates who possess not only comprehensive scientific knowledge but also critical thinking, problem-solving, research competency, digital literacy, ethical professionalism, and adaptability to rapidly changing healthcare environments. Continuous professional development has therefore become an essential component of maintaining professional competence throughout pharmacists' careers.

Technological innovation represents another major driving force behind the transformation of pharmacy practice. Artificial intelligence, machine learning, telepharmacy, electronic health records, automated dispensing systems, blockchain technology, wearable health devices, pharmacogenomics, and precision medicine are fundamentally changing the delivery of pharmaceutical services. These innovations improve medication safety, optimize therapeutic decision-making, facilitate remote patient monitoring, enhance healthcare accessibility, and support personalized pharmacotherapy. Nevertheless, successful implementation of these technologies requires pharmacists to develop advanced digital competencies while maintaining professional judgment, ethical standards, patient confidentiality, and effective communication.

Healthcare workforce sustainability has emerged as a critical global concern. Increasing healthcare demands, population aging, workforce shortages, occupational stress, professional burnout, and migration of healthcare professionals create substantial challenges for pharmaceutical services worldwide. Sustainable workforce development requires strategic investment in pharmacy education, continuing professional development, leadership training, career advancement opportunities, equitable remuneration, supportive workplace environments, and effective workforce planning. Strengthening these areas is essential to maintaining high-quality pharmaceutical care and ensuring long-term healthcare resilience.

Another important aspect of contemporary pharmacy practice is its contribution to public health and preventive medicine. Pharmacists increasingly participate in vaccination campaigns,

smoking cessation services, antimicrobial stewardship, chronic disease screening, travel medicine, health promotion, medication adherence programs, and health literacy initiatives. Because community pharmacists are among the most accessible healthcare professionals, they are uniquely positioned to provide preventive healthcare services, particularly for underserved populations and individuals with limited access to other healthcare providers.

Despite substantial progress, important barriers continue to impede the full integration of pharmacists into healthcare systems. Variations in national legislation, inconsistent educational standards, limited professional autonomy, and insufficient recognition of pharmacists' clinical competencies, financial constraints, and disparities in healthcare infrastructure continue to restrict the expansion of pharmaceutical care in many countries. Addressing these barriers requires coordinated action by governments, universities, professional organizations, regulatory authorities, and healthcare institutions to develop evidence-based policies that strengthen pharmacy practice while promoting equitable access to high-quality pharmaceutical services.

International collaboration has become increasingly important in addressing global pharmaceutical challenges. Organizations such as the World Health Organization (WHO), the International Pharmaceutical Federation (FIP), and numerous regional professional associations promote harmonization of educational standards, competency frameworks, professional ethics, accreditation systems, workforce development, and pharmaceutical regulation. These collaborative initiatives facilitate professional mobility, encourage scientific exchange, strengthen educational quality, and promote the adoption of international best practices within pharmacy practice.

The economic contribution of pharmacists should also be recognized within modern healthcare systems. Numerous health economic studies have demonstrated that pharmacist-led interventions generate significant cost savings by preventing medication errors, reducing adverse drug events, minimizing hospital readmissions, improving medication adherence, optimizing prescribing practices, and reducing unnecessary healthcare utilization. Consequently, investment in pharmaceutical services should be viewed not only as a professional necessity but also as a cost-effective strategy for improving healthcare system performance and long-term sustainability.

Furthermore, societal expectations regarding healthcare professionals continue to evolve. Patients increasingly seek individualized pharmaceutical counseling, shared decision-making, culturally competent communication, and personalized healthcare services. Pharmacists must therefore develop advanced interpersonal skills alongside scientific expertise to build therapeutic relationships based on trust, empathy, professionalism, and ethical responsibility. These competencies are particularly important in multicultural healthcare environments characterized by diverse patient populations and increasingly complex healthcare needs.

Considering these global developments, the pharmacy profession stands at a pivotal stage of scientific, technological, educational, and professional evolution. Future progress will depend upon coordinated international efforts to modernize pharmacy education, strengthen evidence-based practice, promote scientific innovation, improve workforce sustainability, enhance interdisciplinary collaboration, expand clinical responsibilities, and integrate pharmacists more effectively into healthcare policy and service delivery. This evolving background provides the scientific rationale for the present study, which seeks to examine the contemporary transformation of the global pharmacy profession and identify strategic directions for its sustainable development within twenty-first-century healthcare systems.

The future of the pharmacy profession will largely depend upon its ability to respond proactively to scientific innovation, technological advancement, demographic change, evolving

healthcare needs, and global public health priorities. Expanding pharmacists' clinical roles, modernizing educational systems, strengthening professional regulation, promoting interdisciplinary collaboration, supporting scientific research, and embracing digital transformation will collectively determine the profession's capacity to contribute to sustainable healthcare systems.

Against this evolving international background, the present study provides a comprehensive evidence-based evaluation of the contemporary pharmacy profession by examining pharmacists' clinical roles, professional competencies, pharmaceutical innovation, workforce sustainability, healthcare integration, educational modernization, and strategic future directions. The findings are intended to inform policymakers, educators, healthcare administrators, regulatory agencies, and professional organizations seeking to strengthen pharmaceutical services and enhance the contribution of pharmacists to safe, effective, equitable, and patient-centered healthcare worldwide.

The advancement of healthcare systems has also been accompanied by increasing expectations regarding healthcare quality, patient safety, accessibility, affordability, and sustainability. Within this context, pharmacists have emerged as indispensable contributors to healthcare quality improvement by ensuring appropriate medication use, optimizing pharmacotherapy, preventing medication-related complications, and supporting evidence-based clinical practice. Their specialized knowledge of pharmacology, therapeutics, pharmacokinetics, pharmacodynamics, toxicology, and medication management enables pharmacists to bridge the gap between medical diagnosis and successful therapeutic outcomes. Consequently, pharmacists have become key participants in achieving the objectives of universal health coverage and sustainable healthcare development.

The transition toward value-based healthcare has further strengthened pharmacists' professional significance. Unlike traditional healthcare models that primarily focused on service volume, value-based healthcare emphasizes measurable improvements in patient outcomes, healthcare quality, cost-effectiveness, and patient satisfaction. Pharmacists contribute directly to these objectives by reducing medication errors, improving treatment adherence, minimizing unnecessary medicine utilization, optimizing therapeutic regimens, and preventing avoidable hospital admissions. These contributions not only improve individual patient outcomes but also enhance healthcare system efficiency and economic sustainability.

Another important factor influencing the evolution of pharmacy practice is the increasing burden of non-communicable diseases (NCDs). Cardiovascular diseases, diabetes mellitus, chronic respiratory diseases, cancer, chronic kidney disease, neurological disorders, and mental health conditions account for the majority of global morbidity and mortality. Effective management of these chronic conditions requires continuous pharmacotherapeutic monitoring, medication optimization, patient education, adherence support, and multidisciplinary collaboration. Pharmacists play a fundamental role throughout this continuum of care by ensuring safe medication use, monitoring treatment effectiveness, identifying adverse drug reactions, and educating patients regarding long-term disease management.

Population aging has similarly increased the complexity of pharmaceutical care. Older adults frequently experience multiple chronic diseases requiring polypharmacy, thereby increasing the likelihood of drug-drug interactions, inappropriate prescribing, adverse drug events, and medication non-adherence. Comprehensive medication review, deprescribing initiatives, medication reconciliation, and individualized pharmaceutical care have therefore become essential services delivered by pharmacists. These interventions significantly reduce medication-related risks while improving therapeutic effectiveness and quality of life among

older populations.

The increasing prevalence of antimicrobial resistance (AMR) has become another major global healthcare challenge requiring active pharmacist involvement. Irrational antimicrobial prescribing, inappropriate self-medication, poor adherence to treatment regimens, and excessive antibiotic consumption contribute substantially to the emergence of resistant microorganisms. Pharmacists play a critical role in antimicrobial stewardship by promoting rational antibiotic use, educating patients, monitoring antimicrobial utilization, participating in surveillance programs, and collaborating with physicians to optimize antimicrobial therapy. Strengthening pharmacists' participation in national antimicrobial stewardship programs represents an important strategy for addressing this growing global health threat.

Digital transformation continues to redefine healthcare delivery across all professional disciplines. Electronic prescribing, clinical decision-support systems, artificial intelligence, machine learning, telepharmacy, robotic dispensing technologies, wearable medical devices, blockchain applications, cloud computing, and big data analytics are becoming increasingly integrated into pharmaceutical practice. These innovations enhance medication safety, facilitate clinical decision-making, improve healthcare accessibility, and optimize pharmaceutical workflows. However, digital transformation also introduces new ethical, legal, educational, and regulatory challenges that require pharmacists to develop advanced competencies in digital health, data governance, cybersecurity, and responsible technology implementation.

Precision medicine has emerged as one of the most promising developments in contemporary healthcare. Pharmacogenomics, biomarker-guided therapy, molecular diagnostics, and individualized pharmacotherapy enable healthcare professionals to tailor treatment according to each patient's genetic characteristics, thereby improving therapeutic efficacy while reducing adverse drug reactions. Pharmacists possess unique expertise in pharmacogenetics and medication optimization, positioning them as essential members of precision medicine teams. Consequently, pharmacy education should increasingly integrate genomic medicine, molecular pharmacology, bioinformatics, and personalized therapeutics into undergraduate and postgraduate training.

Scientific research and innovation remain central to the advancement of pharmaceutical sciences. Pharmacists contribute to basic pharmaceutical research, clinical trials, pharmacoepidemiology, pharmacovigilance, implementation science, health technology assessment, pharmacoeconomics, and real-world evidence generation. Their research activities support medicine development, healthcare policy formulation, quality improvement initiatives, and evidence-based clinical guidelines. Promoting research capacity within pharmacy education and professional practice is therefore essential for advancing pharmaceutical knowledge and improving healthcare delivery.

GOAL

The primary goal of this study was to conduct a comprehensive, evidence-based evaluation of the evolving global pharmacy profession by examining the expanding clinical responsibilities of pharmacists, contemporary pharmaceutical innovations, workforce sustainability, healthcare integration, and strategic directions for future professional development. The study sought to analyze how pharmacists' roles have transitioned from traditional medication dispensing toward patient-centered pharmaceutical care, evidence-based clinical practice, interdisciplinary collaboration, and public health leadership within modern healthcare systems.

Specifically, the research aimed to assess the current status of pharmacists' professional competencies, educational preparedness, clinical excellence, career development, regulatory

frameworks, professional satisfaction, and workforce challenges while identifying the major factors influencing the quality, accessibility, effectiveness, and sustainability of pharmaceutical services. Furthermore, the study intended to investigate the impact of technological innovation—including digital health, telepharmacy, artificial intelligence, pharmacogenomics, and precision medicine—on contemporary pharmacy practice and the competencies required for future pharmaceutical professionals.

In addition, the study aimed to evaluate the perceptions of pharmacists, pharmacy managers, healthcare professionals, pharmacy students, and patients regarding pharmacists' professional roles, responsibilities, certification, continuing professional development, interprofessional collaboration, and healthcare integration. Finally, the research sought to develop evidence-based recommendations that support educational modernization, regulatory improvement, workforce sustainability, professional excellence, and policy development, thereby strengthening the contribution of pharmacists to safe, effective, patient-centered, and sustainable healthcare systems worldwide. This objective aligns with the broader investigation of pharmacists' professional roles, challenges, innovation, and workforce development presented in the accompanying study.

METHODOLOGY

Research objectives are materials of sociological research: the study was quantitative investigation by using survey (Questionnaire). Research objectives are materials of sociological research: the study was quantitative investigation by using survey (Questionnaire). The in-depth interview method of the respondents was used in the study. The 7 types of approved questionnaires were used (Respondents were randomly selected): Questionnaire for chief pharmacists: 410 chief pharmacists participated in the study. Questionnaire for patients: 1506 patients (customers of drug-stores) participated in the study. Questionnaire for the employed pharmacy faculty-student: 222 employed pharmacy faculty students participated in the study. Questionnaire for health-care specialists: 307 public health specialists participated in the study. Questionnaire for pharmacist specialist, 810 pharmacist specialists participated in the study. Totally 3888 respondents were interviewed in Georgia. We used methods of systematic, sociological (surveying, questioning), comparative, segmentation, mathematical-statistical, graphical analysis. The data was processed and analyzed with the SPSS program. Results and discussion: The survey was conducted through the questionnaires.1506 patients were interviewed in Georgia. Questions and answers are given in the tables. On each question are attached diagrams or table. Questionnaire and diagrams are numbered. The data was processed and analyzed with the SPSS program. We conducted descriptive statistics and regression analyses to detect an association between variables. Statistical analysis was done in SPSS version 11.0. A Chi-square test was applied to estimate the statistical significance and differences. Study of The data was processed and analyzed with the SPSS program. We conducted descriptive statistics and regression analyses to detect an association between variables. Statistical analysis was done in SPSS version 11.0. A Chi-square test was applied to estimate the statistical significance and differences. We defined $p < 0.05$ as significant for all analyses. The study's ethical items. In order to provide the study's ethical character each participant of it was informed about the study's goal and suggested of willingness of the work to be done. So, the respondents' written or oral compliance was got on that issue. All the studies were carried out by the selected organizations administrations' previous compliance. Were used Informed consent form for each respondent to participate in an anonymous survey. During the

whole period of research, the participants' incognita was also provided. For the international rules' and criteria' conformity this human subject comprising given study was discussed and confirmed on the Bioethics Committee sessions of the YSMU. In order to meet the objectives, set in the research we also used the results obtained through analysis of available official information, studies and opinions about pharmacists, as well as the methods of quantitative studies. The research implementation required the following sub studies: the characteristics of pharmaceutical vocational inquires and challenges in the direction on pharmacists' profession, role, problems, perspectives and innovations in pharmaceutics and medicine in Georgia.

RESULTS AND DISCUSSION:

The analysis indicates that the global pharmacy profession is undergoing a structural transition from a predominantly product-centered occupation toward a clinically integrated, knowledge-intensive healthcare discipline. Across contemporary practice environments, pharmacists are increasingly expected to contribute to medication optimization, therapeutic decision-making, prevention of medication-related harm, patient counseling, chronic disease management, pharmacovigilance, antimicrobial stewardship, and continuity of care. This expansion reflects the increasing complexity of pharmacotherapy, population aging, multimorbidity, polypharmacy, the growing prevalence of chronic diseases, and the introduction of increasingly sophisticated medicinal products. The results therefore support the interpretation that the future relevance of pharmacy will depend less on the volume of medicines supplied and more on the professional value generated through clinical judgment, scientific expertise, patient engagement, and measurable health outcomes.

A major finding is the progressive convergence between pharmaceutical knowledge and direct clinical responsibility. Modern medication management requires pharmacists to evaluate indication, therapeutic appropriateness, dosage, interactions, contraindications, adherence, monitoring requirements, and treatment response within the context of individual patient characteristics. This represents a substantial conceptual development because medicine-related decisions cannot be adequately optimized through dispensing accuracy alone. The pharmacist's contribution increasingly involves interpretation of clinical information and identification of medication-related problems before they result in preventable harm. Such a role is particularly important in patients exposed to multiple medicines, narrow therapeutic-index drugs, complex administration schedules, or rapidly changing clinical conditions.

The findings further demonstrate that clinical integration is closely associated with medication safety. Pharmacovigilance, medication reconciliation, adverse-drug-reaction assessment, therapeutic monitoring, and structured medication review are interconnected activities rather than isolated professional functions. A contemporary pharmacy service can provide a continuous safety pathway extending from prescription assessment to treatment follow-up. This approach enables earlier recognition of inappropriate prescribing, duplication, contraindications, clinically significant interactions, toxicity, inadequate adherence, and unnecessary medication exposure. Consequently, pharmacy practice should be conceptualized as an active component of the healthcare quality system rather than merely a logistical stage within the medicines-supply chain.

Another important result concerns the transformation of pharmaceutical innovation. Advances in biotechnology, targeted therapies, personalized medicines, novel drug-delivery systems, pharmacogenomics, digital therapeutics, and data-intensive healthcare are increasing the scientific complexity of medication use. These innovations create opportunities for more precise treatment but simultaneously increase the need for professionals capable of interpreting

molecular, pharmacological, and clinical information. Pharmacists therefore require competencies that extend beyond conventional pharmacotherapy and include clinical pharmacology, pharmacogenomics, health informatics, evidence appraisal, data interpretation, regulatory science, and risk management. The professional evolution of pharmacy is consequently inseparable from the evolution of pharmaceutical science itself.

Digital transformation emerged as another central determinant of future practice. Electronic health records, computerized prescribing, clinical decision-support platforms, automated dispensing, telepharmacy, artificial intelligence, and real-world data systems can improve accessibility, efficiency, surveillance, and therapeutic monitoring. Nevertheless, technology should be regarded as an augmentation of professional expertise rather than a substitute for clinical accountability. Automated systems may identify patterns or generate recommendations, but pharmacists remain responsible for contextual interpretation, communication with patients and healthcare professionals, assessment of uncertainty, and recognition of clinically relevant circumstances that may not be represented adequately within an algorithmic dataset. Effective digital transformation therefore requires technological literacy combined with ethical oversight, data governance, validation, cybersecurity, and human-centered implementation.

The analysis also identifies workforce sustainability as a fundamental strategic issue. Expanding professional responsibilities cannot be achieved solely by increasing the number of pharmacists; it requires appropriate workforce distribution, competency development, career progression, supportive organizational structures, and rational allocation of professional time. Excessive administrative workload, insufficient staffing, limited clinical authority, inadequate remuneration, restricted access to patient information, and weak integration into multidisciplinary teams can prevent pharmacists from applying their full clinical capabilities. Sustainable workforce development should therefore emphasize role optimization and professional utilization alongside recruitment. Pharmacy organizations and healthcare institutions should establish clearly defined scopes of practice, competency frameworks, advanced training pathways, leadership opportunities, and outcome-based models for evaluating professional contributions.

Education represents a particularly important determinant of this transformation. The contemporary pharmacist must combine foundational pharmaceutical sciences with clinical reasoning, communication, public health, research methodology, evidence-based practice, informatics, pharmacovigilance, and interprofessional competencies. Undergraduate education should therefore provide a stronger foundation for patient-centered clinical practice, while postgraduate education and continuing professional development should allow pharmacists to acquire specialized competencies in areas such as oncology, infectious diseases, cardiology, geriatrics, critical care, pharmacogenomics, and medication-safety science. The results suggest that educational modernization is not simply an academic concern; it is a prerequisite for ensuring that professional responsibilities evolve in parallel with the complexity of healthcare.

Healthcare integration constitutes a further major dimension of professional reconfiguration. Pharmacists increasingly function most effectively when embedded within multidisciplinary teams involving physicians, nurses, allied health professionals, and other specialists. Interprofessional collaboration facilitates comprehensive assessment of medication-related risks and allows pharmaceutical expertise to be incorporated directly into therapeutic planning. The evidence-oriented interpretation of this development suggests that professional boundaries should become more collaborative while maintaining clear accountability. Pharmacy should neither operate independently from the broader clinical team nor be reduced to a subordinate dispensing function. Instead, pharmacists should occupy a defined position within collaborative

care models in which their specialized knowledge contributes to shared clinical objectives.

The analysis also highlights the growing importance of patient-centered pharmacy practice. Therapeutic effectiveness is influenced not only by pharmacological properties but also by health literacy, patient preferences, adherence, socioeconomic circumstances, treatment burden, and the feasibility of medication regimens. Pharmacists are strategically positioned to identify barriers to appropriate medicine use because they interact with patients across repeated points of care. Counseling, adherence support, shared decision-making, and individualized medication education can therefore complement pharmacological optimization. This patient-facing dimension strengthens the argument that pharmacy should be understood as a clinical and public-health profession with responsibilities extending across the continuum of care.

From a global perspective, however, the transformation is uneven. Differences in regulation, educational standards, reimbursement mechanisms, prescribing authority, workforce density, healthcare infrastructure, and professional recognition create substantial variation between countries and health systems. Some jurisdictions have developed advanced clinical pharmacy services, while others remain heavily oriented toward medicine supply and dispensing. This heterogeneity indicates that there is no single universal pathway for professional development. Nevertheless, common strategic principles can be identified: competency-based education, evidence-informed practice, interdisciplinary collaboration, appropriate regulation, digital capability, medication-safety systems, and recognition of pharmacists as healthcare professionals capable of delivering measurable clinical value.

The discussion of these findings must also acknowledge potential risks associated with rapid professional expansion. Extending pharmacists' responsibilities without corresponding training, legal authority, staffing, remuneration, and institutional support may generate role ambiguity and professional overload. Similarly, excessive dependence on technological systems may create automation bias or weaken independent clinical reasoning. Professional modernization should therefore proceed through evidence-based implementation rather than through expansion of responsibilities alone. New services should be evaluated using robust indicators of clinical effectiveness, medication safety, patient experience, health-system utilization, equity, and economic value.

The results support a strategic model in which the future pharmacy profession is defined by five mutually reinforcing dimensions: advanced scientific competence, clinical accountability, technological adaptability, collaborative healthcare participation, and sustainable professional development. These dimensions should not be treated as separate objectives. Scientific competence supports sound clinical decisions; clinical accountability strengthens medication safety; technological capability improves information management; interprofessional integration enhances continuity of care; and sustainable workforce development ensures that these functions can be maintained over time. The interaction among these domains provides a coherent basis for redefining pharmacy in response to contemporary healthcare demands.

The global pharmacy profession is not simply expanding its existing activities but undergoing a qualitative redefinition of professional identity. The pharmacist of the future is increasingly characterized as a medication-management specialist, clinical collaborator, public-health contributor, scientific practitioner, and participant in technology-enabled healthcare. The strategic challenge is to ensure that professional evolution remains evidence-based, ethically governed, educationally supported, and responsive to patient and population needs. A successfully transformed pharmacy profession can contribute substantially to safer medicine use, improved therapeutic outcomes, greater healthcare efficiency, stronger prevention strategies, and more resilient health systems. Its long-term development will therefore depend

on the capacity of professional institutions, educational organizations, regulators, healthcare providers, and pharmacists themselves to translate scientific progress into sustainable, clinically meaningful, and patient-centered practice.

The findings of this investigation demonstrate that the global pharmacy profession is experiencing a profound transformation characterized by expanding clinical responsibilities, increasing integration into multidisciplinary healthcare systems, rapid technological advancement, and growing recognition of pharmacists as essential providers of patient-centered healthcare. The survey findings indicate that pharmacists are no longer perceived solely as dispensers of medicines but increasingly as clinical professionals responsible for optimizing pharmacotherapy, promoting medication safety, preventing drug-related problems, supporting evidence-based prescribing, improving medication adherence, participating in disease prevention programs, and contributing to public health initiatives. These developments reflect the international transition from product-oriented pharmaceutical services toward comprehensive pharmaceutical care models that prioritize patient outcomes and healthcare quality.

The study further revealed that respondents strongly associated pharmacists with providing medication information, ensuring the rational use of medicines, supporting patient counseling, and promoting healthcare quality. Although many participants continued to recognize medicine dispensing as an important professional responsibility, there was substantial acknowledgment that pharmacists should also participate in medication therapy management, pharmacovigilance, therapeutic monitoring, healthcare education, and interdisciplinary clinical collaboration. These observations are consistent with contemporary international healthcare policies advocating expanded pharmacist involvement in direct patient care and integrated healthcare delivery. The increasing complexity of pharmacotherapy, particularly among patients with chronic diseases and polypharmacy, further reinforces the necessity for pharmacists to possess advanced clinical competencies capable of preventing medication errors and optimizing therapeutic effectiveness.

One of the most important findings concerns professional competency, which respondents consistently identified as the defining characteristic of an effective pharmacist. Communication skills, professional ethics, patience, empathy, scientific knowledge, and clinical reasoning were also considered essential professional attributes. These findings indicate that contemporary pharmaceutical practice requires a balanced integration of scientific expertise and interpersonal competencies. Effective communication between pharmacists and patients improves medication adherence, enhances therapeutic understanding, strengthens shared decision-making, and contributes to safer pharmaceutical care. Likewise, communication among healthcare professionals facilitates coordinated treatment strategies and minimizes preventable medication-related harm.

The investigation demonstrated widespread support for mandatory pharmacist certification, accreditation, and continuous professional development. More than four-fifths of respondents agreed that governmental certification should become mandatory for pharmacists, emphasizing society's expectation that pharmaceutical professionals maintain standardized competencies throughout their careers. This finding highlights the growing importance of competency-based professional regulation, continuous education, and lifelong learning within pharmacy practice. Certification programs provide mechanisms for ensuring professional accountability, maintaining clinical competency, encouraging evidence-based practice, and strengthening public confidence in pharmaceutical services.

Educational preparation emerged as another major determinant of professional excellence.

Pharmacy students overwhelmingly expressed intentions to continue working within their profession following graduation, while many also demonstrated interest in postgraduate education leading to master's and doctoral qualifications. These findings suggest increasing recognition that higher academic qualifications contribute to professional advancement, research productivity, leadership opportunities, and expanded clinical responsibilities. Modern pharmacy education therefore should extend beyond traditional pharmaceutical sciences by incorporating clinical pharmacology, evidence-based medicine, pharmacoeconomics, pharmacogenomics, digital health technologies, healthcare informatics, leadership, communication sciences, and interprofessional education.

The survey also identified important gaps between university education and practical workforce requirements. Pharmacy managers frequently reported that newly employed pharmacists encountered difficulties related to practical skills, workplace adaptation, communication with colleagues, organizational culture, and application of theoretical knowledge within real clinical settings. These observations indicate that pharmacy curricula should incorporate substantially greater experiential learning, simulation-based education, clinical placements, mentorship programs, and competency-based assessment strategies. Strengthening partnerships between universities, hospitals, community pharmacies, regulatory authorities, and professional organizations may facilitate smoother transition from academic preparation to professional practice.

Professional satisfaction constituted another important component of workforce sustainability. Respondents identified qualification-work correspondence, career advancement opportunities, professional development, workplace relationships, organizational support, and psychological working environments among the strongest determinants of job satisfaction. Conversely, salary, employment benefits, workload, and rigid working schedules were identified as major sources of dissatisfaction. These findings suggest that sustainable pharmaceutical workforce policies should address both economic and organizational determinants of professional well-being. Healthcare systems seeking to improve pharmaceutical service quality must therefore invest not only in education but also in attractive employment conditions, leadership development, supportive organizational cultures, and opportunities for lifelong professional advancement.

The importance of continuous professional development was repeatedly emphasized throughout the investigation. Respondents acknowledged that contemporary pharmaceutical knowledge evolves rapidly because of continuous scientific discoveries, novel therapeutic agents, biotechnology innovations, personalized medicine, pharmacogenomics, digital health applications, and changing clinical guidelines. Consequently, pharmacists cannot rely solely upon knowledge obtained during undergraduate education but must participate regularly in continuing education programs, scientific conferences, workshops, certification courses, research activities, and professional training. Lifelong learning has therefore become indispensable for maintaining clinical competence and ensuring evidence-based pharmaceutical practice.

The study further highlights the growing influence of digital transformation on pharmaceutical practice. Artificial intelligence, electronic prescribing, clinical decision-support systems, telepharmacy, robotic dispensing, wearable technologies, and electronic health records are fundamentally changing pharmacists' daily responsibilities. Digital technologies improve medication safety, optimize pharmaceutical workflows, enhance clinical decision-making, facilitate patient monitoring, and increase healthcare accessibility. Nevertheless, these innovations simultaneously require pharmacists to develop advanced digital competencies while maintaining ethical responsibility, patient confidentiality, cybersecurity awareness, and

professional accountability.

Interprofessional collaboration emerged as another major theme. Effective cooperation among pharmacists, physicians, nurses, dentists, and other healthcare professionals enhances medication safety, reduces therapeutic duplication, minimizes adverse drug reactions, and improves chronic disease management. The respondents recognized pharmacists as valuable contributors to multidisciplinary healthcare teams, particularly regarding pharmacotherapy optimization, medication counseling, drug information services, and adverse drug reaction monitoring. Strengthening collaborative practice agreements and promoting interprofessional education may therefore improve healthcare quality while maximizing pharmacists' contributions to patient care.

Patients' responses further reinforce the strategic importance of pharmacists within healthcare delivery. Most patients reported visiting pharmacies primarily to obtain medications; however, substantial proportions also sought professional advice regarding medication administration, adverse effects, dosage, storage conditions, drug interactions, and selection of therapeutic alternatives. These findings indicate that patients increasingly expect pharmacists to provide comprehensive clinical consultation rather than merely dispensing medications. Expanding patient counseling services therefore represents an important opportunity for improving medication adherence, therapeutic effectiveness, patient satisfaction, and healthcare outcomes.

The investigation additionally demonstrated that professional recognition and social status remain significant concerns for pharmacists. Many respondents emphasized the need for stronger governmental support, improved professional authority, enhanced public recognition, and greater integration into national healthcare systems. Professional identity influences motivation, career satisfaction, workforce retention, and recruitment of talented students into pharmacy education. Governments and professional organizations should therefore strengthen policies recognizing pharmacists as essential healthcare providers whose expertise contributes directly to patient safety and healthcare sustainability.

Gender-related analyses revealed statistically significant differences in several aspects of professional satisfaction, including overall job satisfaction, income satisfaction, and working time satisfaction. Male pharmacists generally reported lower satisfaction compared with female pharmacists in several domains. Although these findings require further investigation within different healthcare systems, they suggest that workforce policies should consider demographic and organizational determinants influencing professional well-being. Inclusive workplace environments, equitable career opportunities, flexible employment arrangements, and transparent remuneration systems may contribute to greater workforce stability and improved professional satisfaction.

The findings also underscore the importance of pharmacist workforce sustainability. Sustainable pharmaceutical services require adequate workforce planning, continuing education, competency assessment, attractive employment conditions, effective leadership, psychological well-being, professional recognition, and supportive healthcare policies. Workforce shortages, excessive workloads, insufficient remuneration, limited career opportunities, and inadequate educational preparation collectively threaten healthcare quality. Consequently, national workforce strategies should prioritize recruitment, retention, professional development, and evidence-based workforce planning to ensure long-term sustainability of pharmaceutical services.

From a strategic perspective, the present findings demonstrate that future pharmacy practice will increasingly emphasize clinical excellence, evidence-based medicine, pharmaceutical innovation, digital transformation, personalized healthcare, and integrated healthcare delivery.

Pharmacists are expected to become active participants in chronic disease management, vaccination programs, precision medicine, pharmacogenomic consultation, antimicrobial stewardship, public health initiatives, pharmacovigilance, health technology assessment, and healthcare policy implementation. Universities should therefore redesign pharmacy curricula to prepare graduates possessing scientific expertise, clinical competence, digital literacy, leadership capabilities, research proficiency, communication skills, ethical professionalism, and interdisciplinary collaboration competencies.

The study provides compelling evidence that redefining the global pharmacy profession requires coordinated reforms across education, regulation, workforce development, healthcare integration, technological innovation, and public policy. Strengthening competency-based education, expanding continuing professional development, implementing standardized certification systems, improving employment conditions, supporting scientific research, and integrating pharmacists more fully into multidisciplinary healthcare teams will collectively improve pharmaceutical care quality, patient safety, healthcare efficiency, and population health outcomes. These findings establish a strong evidence base for policymakers, educators, professional organizations, and healthcare institutions seeking to modernize pharmacy practice and ensure the sustainable development of the profession in the era of precision medicine, digital health, and patient-centered care.

The respondents' (public health specialists) majority considered that the pharmacists' functions in a pharmacy consisted in realization of drugs and instruments of medical purpose and providing information about drugs to the population. Less than half part of the respondents considered it to be in ultimate care about the patients' health and wellness, the drugs dosage and dispensing. About one third part of the public health specialists considered it to be in creation, development, production and sale of drugs, medical devices, instruments for medical purposes and healthcare products. About one third of the health specialists considered the pharmacists to be experts of drugs; about one third of them – to be inform of customers in cost-effectiveness and cost-benefits of drugs, the rest part of them considered that pharmacists help in selection of analogue of drugs (See tabl.1). According to that pharmacist job should become regulated and more authorized in health care system.

Table 1.
The public health specialists' opinion about the pharmacist's functions in pharmacy

Functions performed by pharmacists in pharmacy (no more than 5 answers)	Count	Percent %
1. Realization of drugs and tools (instruments) of medical purpose	164	53.4
2. Creation, development, production and sale of drugs, medical devices, instruments for medical purposes and healthcare products	110	35.8
3. Providing information about drugs to the population	165	53.7
4. Pharmaceutical care	77	25.1
5. Experts of drugs	102	33.2
6. Ultimate care about the patients' health and wellness	131	42.7
7. Dosage and dispensing of drugs	124	40.4
8. Informing the customers in pharmacotherapy direction	107	34.9
9. Informing the customers in cost-effectiveness and cost-benefits of drugs	88	28.7
10. Helping customers in offering or selection of OTC drugs	77	25.1
11. Informing the customers about drug design and drug forms	37	12.1

12. Informing the customers about drugs' generic, chemical and brand name	39	12.7
13. Informing the customers about drugs' effectiveness, safety and toxic effects	66	21.5
14. Informing customers about routes of drug administration	30	9.8
15. Informing customers about rules of drug administration	35	11.4
16. Helping in selection of analogue of drugs	97	31.6

About a quarter of respondent pharmacists (pharmacists) have realized professional capabilities, skills and habits partially; less than 50% of them - of own potential; about half of them have realized professional capabilities, skills and habits partially; more than 50% of them - of own potential (See fig.1). Pharmaceutical companies should create constructive working conditions for pharmacists to maximally realize their professional capabilities, skills and habits. This will increase the quality of pharmaceutical care in pharmacies.

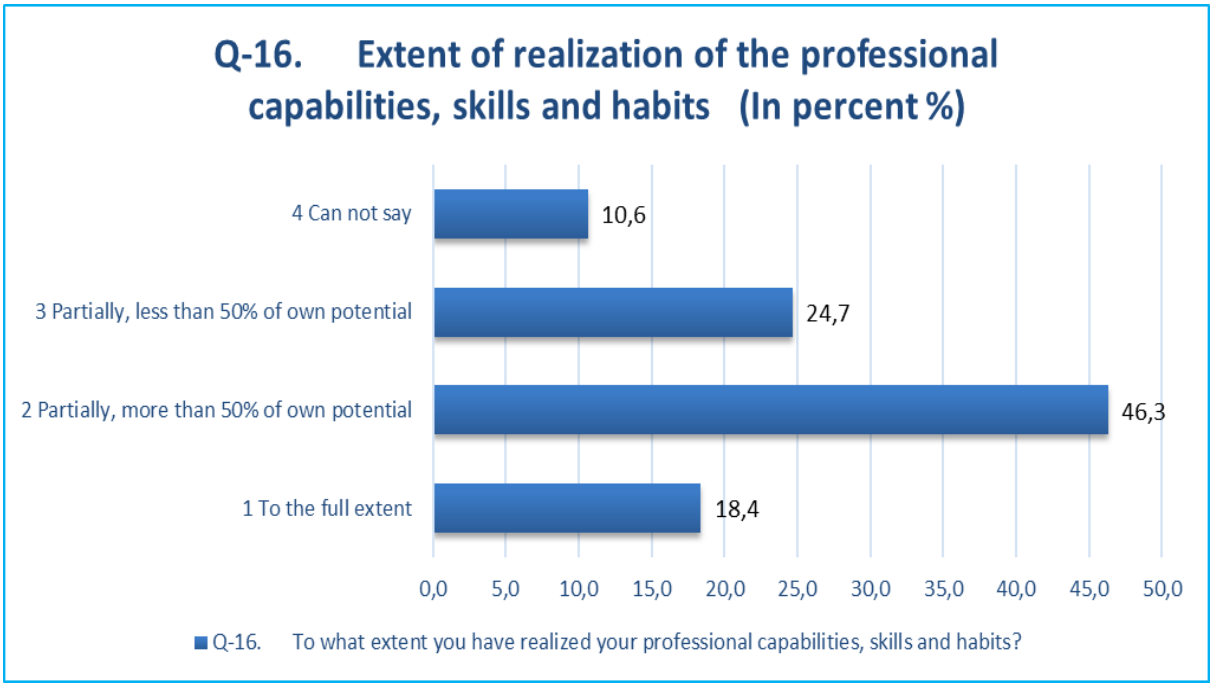


Figure 1. The respondents' pharmacists how have realized professional capabilities, skills and habits.

The respondents' pharmacy faculty students' majority had an intention to work by the obtained specialty after graduating university, and about one third of the students - to continue postgraduate studies (See fig.2). In contemporary situation it is very important for pharmacists to have master and also PhD degree in pharmacy. Post graduated pharmaceutical education is significant for the further vocational enhancement, career and professional advancement, pharmacist professional perfection and the next professional success in pharmacy.

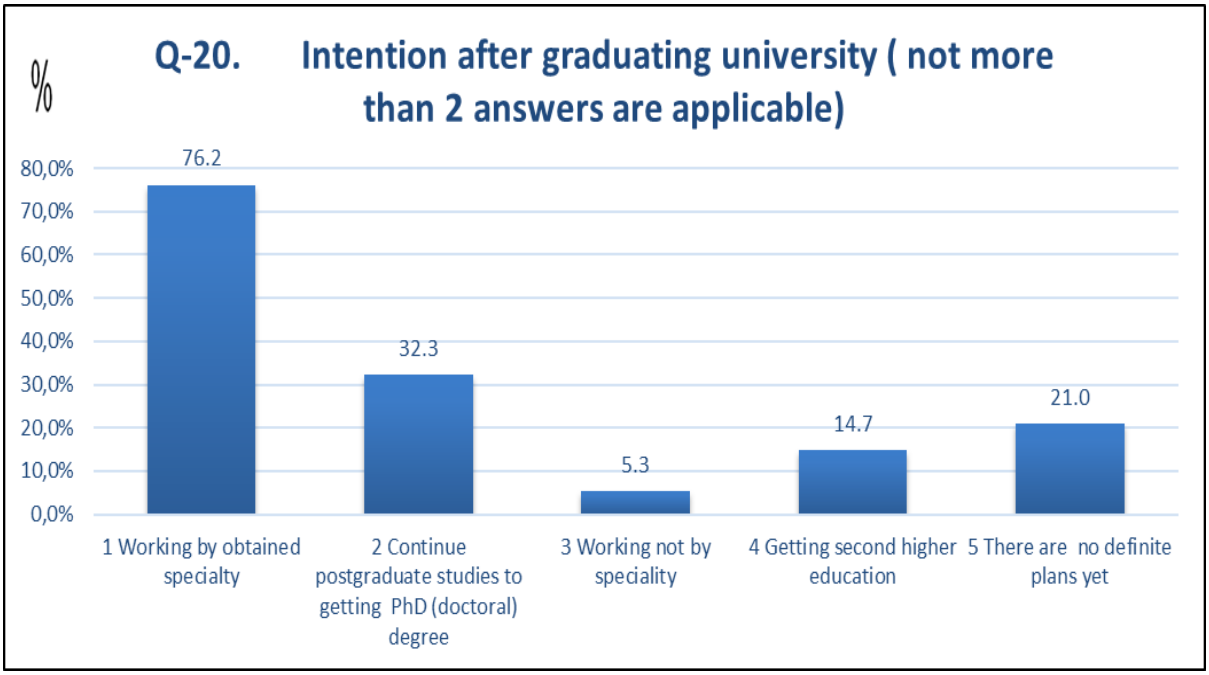


Figure 2. The respondents' (students) intention after graduating university

The most impacting factors influencing on the young pharmacists' work satisfaction were found and evaluated during the research. These factors included the correspondence of qualification to work, correspondence of the work nature to capabilities of personality, existence of perspective for professional promotion, possibility to qualifications enhancement, existence of high degree of responsibility for the result of work, information about affairs of the company and of the staff activity, working conditions, existence of the labor contract of working regimen and salary, existence of benefits' scheme for employees, support and assistance of the chief, direct relations with manager(s),relations with colleagues, possibility for the career enhancement (See tabl.2).

Table 2.
The report of impacting factors - influenced on respondents' work satisfaction

Report on the question about estimation of the impacting factors, which have an influence on the work satisfaction (estimate each factor under the 5- point scale system).	Mean	Median	Std. Deviation
1 Correspondence of the got qualification to work	4.65	5.00	0.603
2 Correspondence of the work nature to capabilities of personality	4.42	5.00	0.721
3 Existence of perspective for professional promotion	4.21	4.00	0.907
4 Possibility to qualifications enhancement	4.13	4.00	0.895
5 Existence of high degree of responsibility for the result of work	3.87	4.00	1.141
6 Information about affairs of the company and the colleagues' activity	4.09	4.00	0.946
7 Working conditions	3.67	4.00	1.127

8 Existence of the labor contract	3.66	4.00	1.102
9 Working regimen (schedule)	3.25	3.00	1.140
10 Salary	2.65	3.00	1.053
11 Existence of benefits' scetch for employees	2.25	2.00	1.145
12 Support and assistance of the chief (manager)	3.41	4.00	1.223
13 Direct relations with the chief	3.44	4.00	1.185
14 Relations with colleagues	4.04	4.00	0.937
15 Possibility to career enhancement	3.89	4.00	0.962

For about the half part of the respondents' pharmacy faculty students the most attractive areas of activity were pharmacies (See tabl.3). In this respect pharmacists should have proper education in main medical and pharmaceutical fields to provide higher quality pharmaceutical care service in pharmacies, substantial for patients' safety. Pharmacy is the most attractive work place for pharmacists. Therefore, pharmacists' accreditation, certification and licensing existence are of crucial importance.

Table 3.
The respondents' (students) answers on the question "What spheres of activity are the most attractive to you? "

The most attractive areas of activity	Count	Percent (%)
1. Scientific-teaching	14	4.4
2. Pharmacy	150	47.3
3.Wholesale pharmaceutical organization	40	12.6
4. Administration bodies	51	16.1
5. Pharmaceutical factory	58	18.3
6. Analytical laboratory	44	13.9
7. Work of medical representative	52	16.4

Coupling the data of respondents' answers' analysis of the questions "Indicate your sex" (Q1) and "Q14 Are you satisfied with your work (job)? **"** (Q14) it became apparent that variables are gender dependent (P=0.024), there is a statistically significant differences between two groups, that means that the male pharmacists were less satisfied with their work, rather than the female pharmacists (See tabl.4).

Table 4.
Satisfaction with work of the respondent pharmacists according gender

Crosstab			
Satisfaction with work of respondent pharmacists			
Are you satisfied with your work?	Q1 Indicate your sex		Total
	1 Female	2 Male	
1. Yes	44.00%	22.65%	33.20%
2. Partially	39.90%	11.90%	37.30%
3.No	11.80%	62.15%	24.40%
4. Cannot say	4.40%	3.30%	5.10%
Total	100.0%	100.0%	100.0%

Chi-Square Tests			
	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-square	24.261[a]	3	0.024

The employed pharmacy faculty students' majority considered that working days per week ranged from 2-5 days (See fig.3). Therefore, it is of benefit that the employed students could work in a more flexible and convenient schedule per week to prevent missing lectures at the university and to avoid of excessive work load. Flexible working schedule is very significance for the employed students' academic and professional success.

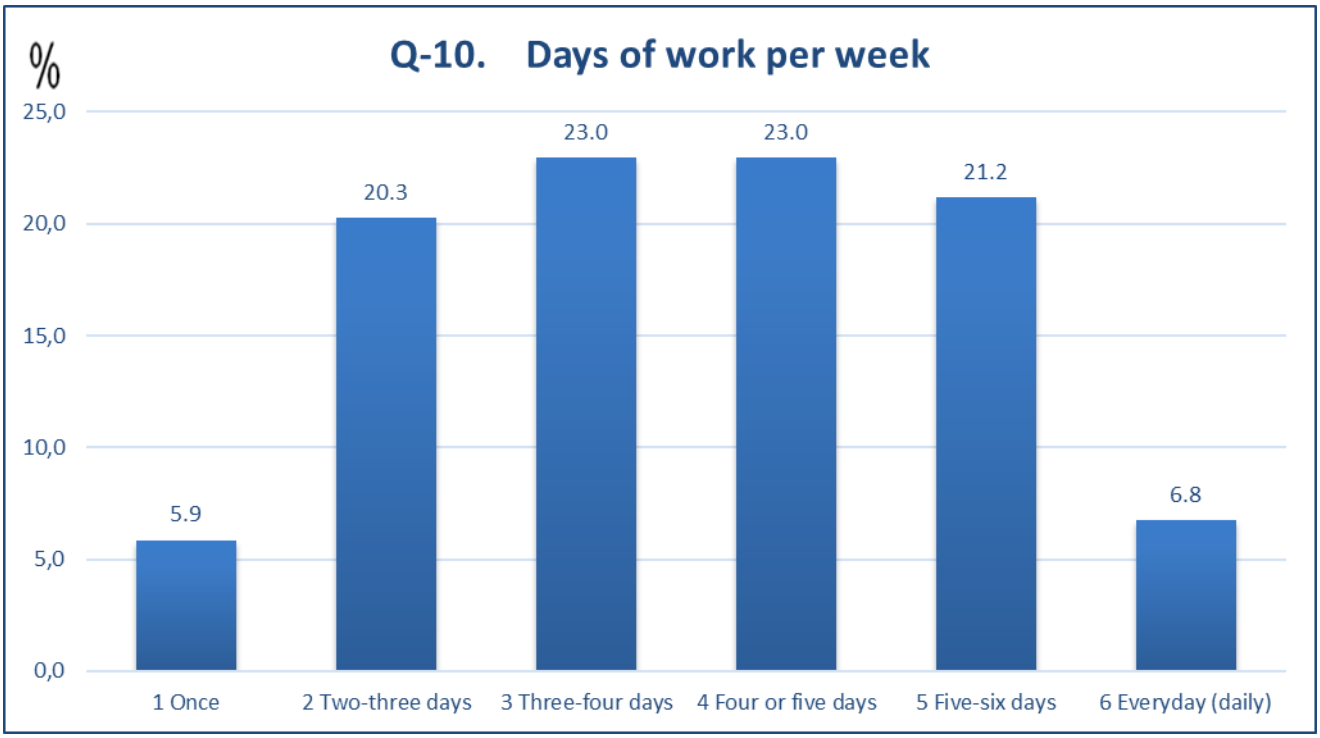


Figure 3. Employed pharmacy faculty students' timetable per week

The minority of respondent pharmacists had not used knowledge in their practice, obtained from professional publications; less than half of them had partially used that knowledge (See fig.4). It is very important that pharmacists have to use knowledge obtained from the professional publications, journals and the modern pharmaceutical literature in their practice.

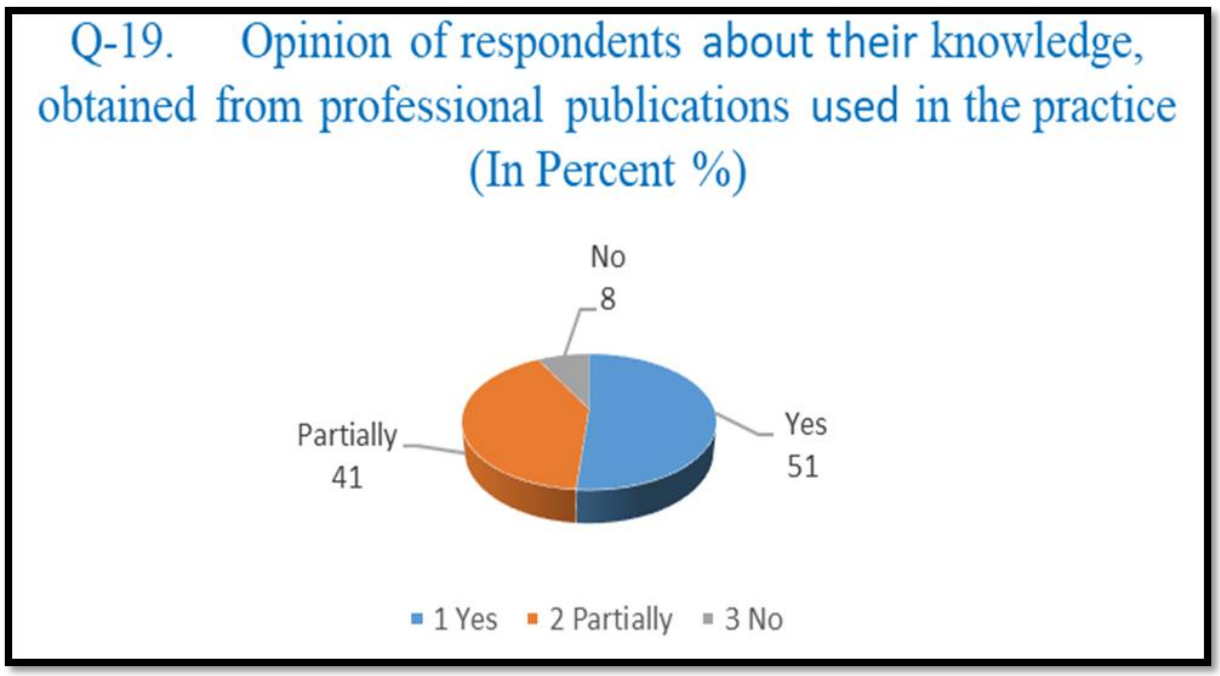


Figure 4. Opinion of the respondents about their knowledge, obtained from professional publications used in the practice

Coupling the data of respondents' answers' analysis of the questions "Indicate your sex" (Q1) and „Are you satisfied with the time duration of your job? " (Q26) it became apparent that variables are gender dependent (P=0.048), there is a statistically significant differences between two groups, that means that the male pharmacists were less satisfied with the time duration of work, rather than the female pharmacists (See tabl.5).

Table 5.
Respondent pharmacists' satisfaction with the time duration of job

Satisfaction with time duration of work of the respondent pharmacists according gender			
Respondent pharmacists' satisfaction with the time duration of job			
Are you satisfied with the time duration of your job?	Q1 Indicate your sex		Total
	1 Female	2 Male	
1. Yes	22.38%	14.70%	22.10%
2. Partially	34.10%	36.70%	34.20%
3. No	43.51%	48.60%	43.70%
Total	100.0%	100.0%	100.0%

Chi-Square Tests			
	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-square	19.775[a]	2	0.048

Less than half part of respondents' chief pharmacists' considered that the mostly essential difficulties in professional adaptation of young employees were difficulties with adaptation

within the colleagues' team, difficulties in relationship with administration (leadership), non-compliance of a job with own ideas (See tabl.6). According to that university pharmacy program should be more orientated to special skills, which gives possibility and capability to pharmacists to use gained professional knowledge in practical situation.

Table 6.

The respondents' opinion about the mostly essential difficulties in professional adaptation of young employees

The most essential difficulties in professional adaptation of young employees (several answers were acceptable)	Count	Percent %
1. Lack of professional knowledge	250	61.0
2. Lack of computer skills or other special skills/ certain peculiar specific skills	271	66.1
3. Difficulty with adaptation in to collective (within the colleagues team)	139	33.9
4. Difficulties in relationship with administration (leadership)	196	47.8
5. Non-compliance of a job with own ideas	164	40.0
6. Having excessive ambitions	90	22.0

The majority of respondents' patients applied into the pharmacy for acquiring medications (See tabl.7). So, the pharmacist professional qualification, knowledge and professional competencies are very important to provide good pharmaceutical service.

Table 7.

Products that respondents purchase frequently in pharmacies

The products purchased frequently in pharmacies (several answers were possible)	Count	Percent (%)
1. Medications (drugs)	1310	87.0
2. Optics	170	11.3
3. Medical devices -products of medical purpose	177	11.8
4. Mineral water	283	18.8
5. Cosmetics and parfumery products	359	23.8
6. Disinfectants	473	31.4
7. Personal hygiene items	567	37.6
8. Medical and dietary nutrition	183	12.2
9. Biologically active additives-food supplements (nutritional, dietary)	217	14.4
10. Patient care items	223	14.8
11. Child nutrition	337	22.4

Coupling the data of respondent's answers' analysis of the questions "Indicate your sex" (Q1) and „Are you satisfied with your income? " (Q27) it became apparent that variables are gender dependent (P=0.019), there is a statistically significant differences between two groups, what means that the male pharmacists were less satisfied with income, rather than the female pharmacists (See tabl.8).

Table 8.
Satisfaction of the respondent pharmacists with income according gender

Crosstab			
Satisfaction of the respondent pharmacists with income according gender			
Are you satisfied with your income?	Q1 Indicate your sex		Total
	1 Female	2 Male	
1. Yes	10.59%	0.00%	10.20%
2 .Partially	25.48%	23.30%	25.40%
3. No	63.82%	76.70%	64.30%
Total	100.0%	100.0%	100.0%

Chi-Square Tests			
	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-square	13.314[a]	2	0.019

The majority of the pharmacies consumers-patients' determined the main factor while drug choosing process to be recommendation of a physician. Less than half part of respondents determined the main factor while choosing the drugs to be the doctor's prescription and advice of a pharmacist (See fig.5). Therefore, the role of pharmacist is significant in the healthcare system. For the higher quality healthcare and pharmaceutical services, the pharmacist's appropriate education level is of crucial importance. It was shown that the health of patients was directly related to the professional education level of pharmacist. Therefore, pharmacist should have eligible higher pharmaceutical education.

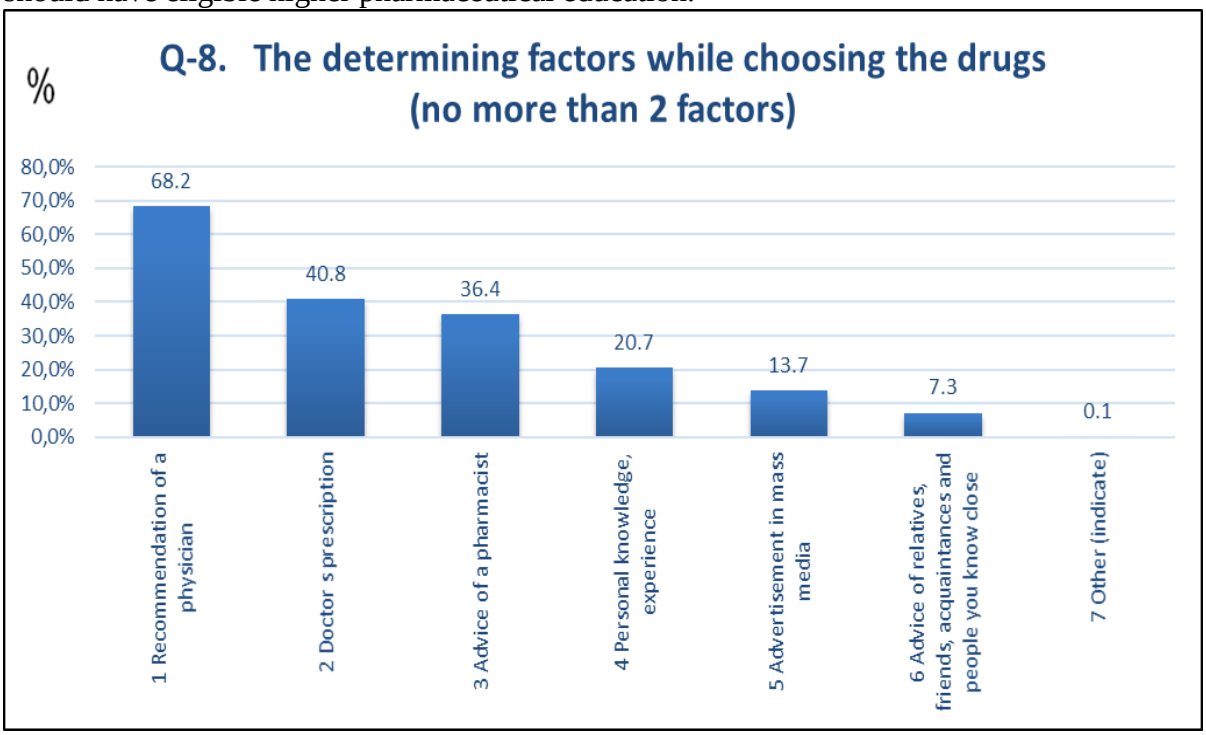


Figure 5. The determining factors while respondents' patients' choose the drugs

Analysis the data of respondents answers on the question „Do you think that the Government should make the certification of pharmacists? "(Q) revealed the following in different categories: the majority of chief pharmacists, of consumers of medications, of the employed students, of the healthcare specialists and pharmacists considered, that Government should make certification of pharmacists (P<0.000) There are statistically significant points between variables. (See Table 9).

Table 9.

Respondents' opinion about pharmacists' certification

Cross tabulation				
Do you think that the Government should make the certification of pharmacists?	Do you think that the Government should make the certification of pharmacists?			Total
	1. I agree	2. I partially agree	3. I Do not agree	
Chief Pharmacists	76.6%	16.3%	7.1%	100.0%
Customers	82.6%	11.6%	5.8%	100.0%
Employed Students	95.9%	3.6%	0.5%	100.0%
Health-care Specialists	94.8%	4.6%	0.7%	100.0%
Pharmacist specialists	71.9%	21.9%	6.3%	100.0%
Average	81.2%	13.5%	5.2%	100.0%

Chi-Square Tests			
	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-Square	132.625[a]	8	0.000

For the majority of respondents' patients' mostly asked the pharmacists about the rules of drugs intake and prices of drugs. For the less than half part of the respondents mostly asked about the drugs' adverse effects and quality. For about the one third of them mostly asked about help in selection of analogue of drugs, indication/contraindication of drugs, the terms and conditions of their storage (conditions and shelf-life), the drugs dosage, rules of drug administration and selection of OTC drugs (See tabl.10).

Table 10.

The respondents' mostly asked questions to pharmacists

The questions mostly asked to pharmacists (several answers were possible)	Count	Percent (%)
1. About rules of intake of medications	950	63.1
2. About adverse effects of medications	625	41.5
3. About prices of medications	925	61.4
4. About help in selection of analogue of medication	449	29.8
5. About quality of medications	640	42.5
6. About availability of medications in a pharmacy	399	26.5
7. About indication/contraindication of medications	471	31.3
8. About terms and conditions of storage of drugs (conditions and shelf-life)	464	30.8

9. About medications dosage	505	33.5
10. About routes of drug administration	292	19.4
11. About drug forms	289	19.2
12. About drug design	130	8.6
13. About drugs toxic effects (toxicity)	297	19.7
14. About principles of pharmacotherapy	55	3.7
15. About rules of drug administration	386	25.6
16. About drugs generic, chemical and brand names	156	10.4
17. About selection of OTC drugs	409	27.2
18. Some specific information about drugs	380	25.2
19. Effectiveness of drug	312	20.7
20. About drugs action and their interactions	284	18.9
21. About drugs safety	321	21.3
22. About cost-effectiveness of drugs	51	3.4

The majority of respondents considered that the required quality for pharmacist was professional competency. Less than half part of the respondents considered it to be a readiness for relationships (communication-contact), patience, endurance and stamina, amiability or kindness and high professionalism (See tabl.11). Studies have confirmed that professional competency was mandatory for pharmacists. Being a hallmark the pharmacists' professional competency could be achieved by adopting of higher pharmaceutical education and certification of pharmacists.

Table 11.
The required qualities for pharmacist in the respondents' opinion

The qualities required for pharmacist (pharmaceutical professionals in the pharmacy) (3 possible answers)	Count	Percent (%)
1. Readiness for communication-contact	714	47.4%
2. Professional competency	891	59.2%
3. Patience, endurance and stamina	630	41.8%
4. Amiability or kindness	710	47.1%
5. Ability to build up relations with people	376	25.0%
6. Vocational particular skills	503	33.4%
7. Friendliness (goodwill)	415	27.6%

Coupling the data of respondents' answers' analysis of the questions "Indicate your sex" (Q1) and „Do you think that the Government should make the certification of pharmacists? " It was obvious that there was not a significant difference between the variables (P=0.556) There is no statistically significant attitude between sex and variables (See tabl.12), this means that, ("Q1 Gender") and „Q12 Do you think that the Government should make the certification of pharmacists? ". So Answers are not dependent on sex.

Table 12.
Consumers of medications opinion about pharmacists' certification according gender

Gender Cross tabulation				
Do you think that the Government should make the certification of pharmacists?		Q1 Gender		Total
		1. Female	2. Male	
Do you think that the Government should make the certification of pharmacists?	1. I agree	83.4%	81.3%	82.6%
	2. I partially agree	11.0%	12.6%	11.6%
	3. I Do not agree	5.6%	6.1%	5.8%
Total		100.0%	100.0%	100.0%

Chi-Square Tests			
	Value	df	Asymp. Sig. (2-sided)
Pearson Chi-square	1.173[a]	2	0.556

During the research the impacting factors influenced on the young pharmacists' professional development were found and evaluated. They included interesting and valuable work, the beneficial psychological climate within the colleagues' team, the possibility of career development, professional education, the social importance of profession and independence in work (See tabl.13).

Table 13.

Report on the factors influencing on the respondents' professional development

Factors, having an influence on the professional development (evaluate each factor under the 5-point scale system)	Mean	Median	Std. Deviation
1 Interesting and valuable work	4.20	4.00	0.824
2 Favorable psychological climate within the colleagues' team	4.18	4.00	0.798
3 Possibility of career growth	3.96	4.00	0.863
4 Professional education (training)	4.04	4.00	0.904
5 The profession's social importance	4.07	4.00	0.960
6 Independence in work	4.12	4.00	0.959

Chi-square test of independent has been performed in order to compare the attitude of different sides to the necessity of pharmacists' certification regulation by Government.
Opinion that certification of pharmacists should be mandatory was more common among health care specialists than among chiefs (Chi-square = 45.2, $p<0.001$) and among pharmacists (Chi-square = 68.9, $p<0.001$), but the there was no statistically significant difference between chiefs and pharmacists. It was more common also among customers /patients than in pharmacists (Chi-square = 44.2, $p<0.001$). The necessity of pharmacists' certification was stated more often by employed students than by pharmacists (Chi-square = 57.3, $p<0.001$).
The percentage of satisfied with professional choice respondents was the highest among students (97.7%). It was higher also in young specialists (82.2%) in comparison with

pharmacists (57.7%). Differences were statistically significant for comparisons of all pointed out groups of respondents ($p<0.001$).

The majority of higher pharmaceutical education pharmacists' specialists were female; among them the largest majorities were working on the pharmacist position at pharmacies. The Government and pharmaceutical companies should create promotional conditions for males to make pharmacist profession attractive for men. It is very important for career advancement and satisfaction to provide a balance between the workload and man personal life for the satisfaction by income, for pharmacists' professional satisfaction, for pharmacist job satisfaction, and also for the career promotion perspectives.

The Government should take care of the profession of pharmacist authority. The pharmacist's profession in the health care system should increase the authority and social importance by the state support. Pharmacist's profession should become of more power and authority; a pharmacist should have a much higher status in the healthcare system. Therefore, the role of a pharmacist is significantly increased in the healthcare system and is directly related to his professional education level. Therefore, pharmacist should have appropriate higher pharmaceutical education. All the mentioned is achieved then, when the pharmacist profession will move into the health-regulated professions list.

The level of basic training of pharmacists should be in compliance with the contemporary requirements. The pharmacist should have deep knowledge in pharmacology, in pharmacotherapy, in toxicology, in pharmaceutical care, in clinical pharmacy, in pharmacokinetics, in pharmacodynamics, in basic of medicine and in other pre-clinical and clinical directions. Such knowledge can be obtained only in the higher pharmaceutical education institutions. Therefore, pharmacist working in pharmacy must have only higher pharmaceutical education.

To increase the pharmacist's professional qualification, professionalism, professional knowledge and competency the higher pharmaceutical education universities programs should more emphasize the mentioned subjects. It is too important, that a pharmacist should realize and understand that qualification upgrading study courses, professional trainings and professional workshops are of great necessity for further professional advancement. Thus, the Government should develop continuous pharmaceutical education programs accessible to all pharmacists. The qualification upgrading study courses, professional education or training courses should be available for all pharmacists. Pharmacist's education process should not be stopped. Developing a continuous pharmaceutical education system will enhance the professionalism of the pharmaceutical personnel. Experiential education should encourage perfection of critical opinion and the problem resolving processes along with the medicine discovery.

Pharmacy faculty students should take part in the patient care practice in hospitals, society proceeding settings and in other practical experiences. Students should have the possibility to apply the clinical and pharmaceutical information taught in classes when studying in medical facilities by working under the supervision of volunteer mentors (the healthcare specialists or professionals). The research activity of the pharmaceutical faculty students in all fields of pharmaceutical practice should be encouraged.

Quality reliance refers to the necessity to improve higher pharmaceutical education to guarantee a useful, sustainable and steady activity and appropriate skills and competencies of the tomorrow's labor resources. The pharmacy degree programs should be proposed at the higher pharmaceutical institution level and entire experimental constituent element in the clinical facilities.

To raise the professional standards, the Government should make a certification of the higher pharmaceutical education pharmacists. It is very essential for pharmacist's professional perfection and professional growth, for self-realization and job satisfaction of the higher pharmaceutical education pharmacists, for the pharmacists' career advancement, their much higher status among the health care specialists and economic welfare, for their full realization of the received knowledge while working, for an opportunity to have private pharmaceutical activity, for the perspectives of professional promotion and correspondence of pharmacists qualification to the work performed. There is a substantial need for preparation and implementation of the registration-certification regulations for pharmacists' staff. Process of the pharmacists' certification should be started immediately.

To obtain more power and authority, much higher status, independence, self-realization, power, economic welfare, professional growth, career advancement the Government and private pharmaceutical companies should increase the salaries of pharmacists and the system of benefits' scheme for the pharmacist employees. The working conditions of pharmacists should be improved; the labor conditions should become more constructive for the pharmacist, providing more beneficial psychological climate within the collective and the possibility of career growth should be accessible to all pharmacists. The pharmacist's work schedule should become more flexible, and the job duration time per week should be reduced on the more effective for pharmacist's labor design. The flexibility will further improve pharmacists' workability and motivation toward the job, and also contribute to improve pharmacists' satisfaction according to the time duration of a job.

It is necessary to provide a deep cooperation between pharmacists and physicians on the issues of pharmacotherapy and healthcare to ensure the patients' health state effective improvement, and also to provide the best feedback regulation and revision in the healthcare specialists' team work. Pharmacists also should be responsible for registration of the drugs' side effect, as well as be attentive in case of improperness and professional defects of drugs they provide. To achieve that it is necessary to raise awareness of specialists on the essence of pharmacists' profession and functions among the medical personnel and general public.

On the basis of the theoretical and logical analysis the structure and composition of the factors have been developed, considering the objective (external), subjective (internal) and universal factors, which influence on the professional formation of the pharmacist. These factors comprised the content of work, position, correspondence of qualification and nature of work to capabilities, aspirations and inclinations of the pharmacist, the existence of perspective for professional promotion. The existence of perspectives for career promotion, the possibility to enhance qualifications, a high degree of responsibility for the work results, regimen, labor salary and the system of benefits scheme for employees, support and assistance of a manager, direct relations with manager and colleagues serve the essential base for the pharmacists' successful work. The unity of criteria for pharmacist professional formation, for the common professional formation (characteristic to all stages) and the specific professional formation (characteristic to the separate stage) had been developed.

The study of the professional adaptation of pharmacists indicated that inadequate professional knowledge, improper performance of the acquired professional skills were the main reasons for imperfect pharmaceutical care supply. The majority of the pharmaceutical organizations' heads and also the young specialists considered the coexistence of a mentor (experienced professional pharmacist) as the main factor of professional improvement for pharmacists' professional adaptation. The pharmacists' personnel must show stirring involvement in sharing their cognition, understanding, science, skill and contributing partnership and cooperation within the

colleagues and other health care professionals in pharmacy direction.

It is quite significant, that pharmaceutical companies regularly perform study of pharmacists' work satisfaction. The pharmaceutical companies should determine combination of factors that effect on the pharmacists' work satisfaction. Pharmaceutical companies should create favorable working conditions for pharmacists to enable the maximal realization of the pharmacists' professional capabilities, skills and habits. A balance between the workload and pharmacists' personal life should be more harmonized, convenient, resourceful and more poised. This will increase the quality of pharmaceutical care in pharmacies.

It should be noted, that pharmacist's satisfaction with income is a very sensitive factor that has a significant impact on the quality of pharmaceutical services performed in pharmacy, so the pharmacists' salary should be revised and increased.

It should be noted that in developed countries and in many developing countries pharmaceutical specialty is regulated profession alike the family medicine. In western countries pharmacist as a family doctor need higher pharmaceutical education, diploma and continuous pharmaceutical education, pharmaceutical license and periodic accreditation. Only pharmacists with higher pharmaceutical education have the right to work as pharmacists' position in the pharmacies. On the pharmacists' certification programs should be only involved pharmacists who have graduated pharmaceutical faculties from state recognized and accredited universities.

An important finding of this study concerns the increasing significance of pharmaceutical care as the central philosophy of contemporary pharmacy practice. Pharmaceutical care is no longer limited to the accurate preparation and dispensing of medications but encompasses comprehensive medication management designed to achieve measurable improvements in patients' health outcomes. Pharmacists increasingly participate in identifying drug-related problems, evaluating therapeutic effectiveness, monitoring adverse drug reactions, preventing medication errors, educating patients, and ensuring the rational use of medicines. This transition from product-oriented services to patient-centered care reflects one of the most important paradigm shifts in pharmaceutical sciences during the past three decades. Consequently, healthcare systems should continue expanding pharmacists' authority in clinical decision-making while ensuring appropriate regulatory frameworks, professional accountability, and competency-based education.

The present findings further indicate that pharmacists represent one of the most accessible healthcare professionals within society. Community pharmacies frequently serve as the first point of healthcare contact for patients seeking medical advice, over-the-counter medications, chronic disease management, preventive healthcare, and health information. Such accessibility places pharmacists in a unique position to contribute to early disease detection, health promotion, vaccination programs, smoking cessation initiatives, nutritional counseling, and lifestyle modification interventions. Expanding these public health responsibilities may substantially reduce healthcare burdens while improving population health outcomes through preventive pharmaceutical services.

Medication adherence emerged as another area in which pharmacists have considerable potential to improve therapeutic outcomes. Poor adherence remains one of the leading causes of treatment failure, unnecessary hospitalization, disease progression, and increased healthcare expenditure worldwide. Pharmacists possess specialized knowledge that enables them to identify adherence barriers, simplify medication regimens, educate patients regarding therapeutic expectations, address misconceptions concerning medicines, and provide individualized follow-up. Regular pharmacist-led medication reviews can therefore improve adherence, optimize treatment effectiveness, and reduce preventable medication-related

complications, particularly among elderly patients and individuals with multiple chronic diseases.

The study also emphasizes the growing importance of evidence-based pharmaceutical practice. Contemporary pharmacists must integrate the best available scientific evidence with clinical expertise and patient preferences when making therapeutic recommendations. Evidence-based pharmacy requires competency in literature searching, critical appraisal, systematic review interpretation, guideline implementation, pharmacoeconomic evaluation, and clinical research methodology. These competencies enable pharmacists to recommend the safest, most effective, and most cost-efficient therapeutic interventions while adapting treatment recommendations to individual patient characteristics.

Research competency represents another increasingly important professional expectation. Pharmacists are becoming active contributors to clinical trials, pharmacoepidemiology, pharmacovigilance, real-world evidence generation, implementation science, and health outcomes research. Participation in scientific research strengthens professional credibility while promoting continuous improvement in pharmaceutical practice. Universities should therefore encourage undergraduate and postgraduate pharmacy students to engage in research activities, scientific publication, conference participation, and interdisciplinary collaboration throughout their professional education.

An additional observation relates to leadership development within pharmacy. Healthcare systems undergoing continuous organizational and technological change require pharmacists capable of leading multidisciplinary teams, implementing quality improvement initiatives, managing healthcare resources, and participating in healthcare policy development. Leadership competencies—including strategic planning, organizational management, effective communication, negotiation, conflict resolution, and change management—have become increasingly important across community pharmacies, hospitals, pharmaceutical industries, regulatory agencies, and academic institutions. Consequently, pharmacy education should include formal leadership training alongside scientific and clinical instruction.

The globalization of pharmaceutical practice has simultaneously created opportunities and challenges for workforce mobility. International harmonization of educational standards, professional competencies, accreditation systems, and ethical principles facilitates the movement of qualified pharmacists across national borders. However, substantial differences remain among countries regarding licensing requirements, scope of practice, continuing professional development, remuneration systems, and healthcare integration. International collaboration among governments, universities, professional organizations, and accreditation agencies is therefore essential to establish globally recognized competency frameworks while respecting national healthcare priorities.

Ethical responsibility remains a cornerstone of professional pharmacy practice despite rapid technological advancement. Pharmacists routinely encounter ethical issues involving patient confidentiality, informed consent, medication accessibility, conflicts of interest, healthcare equity, compassionate medicine use, and allocation of limited healthcare resources. Maintaining public trust requires pharmacists to demonstrate professional integrity, transparency, accountability, and commitment to patient welfare throughout all aspects of pharmaceutical practice. Ethics education should therefore remain a central component of undergraduate curricula, postgraduate education, and lifelong professional development.

The findings additionally highlight the importance of regulatory modernization. Effective pharmacy regulation protects public health by ensuring that pharmacists possess appropriate qualifications, maintain professional competency, adhere to ethical standards, and participate

in continuous education. Regulatory authorities should adopt competency-based licensing systems supported by periodic re-certification, continuing professional development requirements, quality assurance mechanisms, and evidence-based standards of professional practice. Such regulatory reforms would strengthen public confidence while promoting uniform standards of pharmaceutical care.

Another noteworthy finding concerns the relationship between professional recognition and workforce motivation. Respondents consistently emphasized that pharmacists should receive greater recognition for their contributions to healthcare delivery. Professional autonomy, expanded clinical responsibilities, competitive remuneration, supportive workplace environments, and opportunities for career progression collectively influence professional commitment, organizational loyalty, and workforce retention. Countries that invest in strengthening pharmacists' professional status are likely to experience improved recruitment, greater workforce stability, enhanced pharmaceutical service quality, and better patient outcomes.

Technological innovation continues to reshape virtually every aspect of pharmaceutical practice. Artificial intelligence-assisted medication management, predictive analytics, pharmacogenomic decision-support systems, robotics, automated dispensing technologies, blockchain-based pharmaceutical supply chains, and digital therapeutics are expected to become routine components of healthcare delivery. While these technologies improve efficiency and reduce human error, they cannot replace pharmacists' professional judgment, ethical reasoning, empathy, and patient communication skills. Instead, technology should be viewed as an instrument that enhances clinical decision-making while allowing pharmacists to devote greater attention to direct patient care.

The concept of precision medicine also offers considerable opportunities for expanding pharmacists' clinical responsibilities. Pharmacogenomic testing increasingly enables individualized drug selection and dosage optimization based upon genetic variability. Pharmacists with specialized expertise in pharmacogenomics can interpret laboratory findings, recommend individualized therapeutic regimens, identify patients at risk of adverse drug reactions, and collaborate with physicians to optimize personalized treatment strategies. Integrating pharmacogenomics into pharmacy education will therefore become increasingly important as precision medicine continues expanding globally.

From a healthcare systems perspective, integrating pharmacists into multidisciplinary clinical teams generates substantial economic as well as clinical benefits. Numerous international investigations have demonstrated that pharmacist-led medication management programs reduce medication-related hospital admissions, improve chronic disease control, decrease healthcare expenditures, and enhance patient satisfaction. These findings support broader implementation of collaborative practice agreements that formally integrate pharmacists into primary care, hospital medicine, ambulatory care, and community healthcare settings.

The present study also highlights several strategic priorities for future pharmacy development. First, educational institutions should modernize curricula by incorporating artificial intelligence, digital health, pharmacogenomics, implementation science, healthcare informatics, precision medicine, leadership, and evidence-based medicine alongside traditional pharmaceutical sciences. Second, governments should strengthen pharmacist certification, accreditation, and continuing professional development systems to ensure consistent professional competency throughout pharmacists' careers. Third, healthcare organizations should improve working conditions, professional recognition, remuneration, and career development opportunities to enhance workforce retention and satisfaction. Finally,

professional organizations should promote interdisciplinary collaboration, scientific research, policy advocacy, and international cooperation to support sustainable pharmaceutical workforce development.

Taken together, these findings demonstrate that the pharmacy profession is entering an era characterized by scientific innovation, clinical expansion, digital transformation, and increased societal responsibility. Pharmacists are uniquely positioned to improve medication safety, optimize pharmacotherapy, strengthen public health, advance precision medicine, and enhance healthcare sustainability. Successfully achieving these objectives will require coordinated efforts involving governments, universities, healthcare institutions, regulatory authorities, professional organizations, and pharmacists themselves. Such collaborative strategies will facilitate the continued evolution of pharmacy into a fully integrated clinical profession capable of addressing the increasingly complex healthcare needs of twenty-first-century societies.

To obtain more power and authority, much higher status, independence, self-realization, power, economic welfare, professional growth, career advancement the Government and private pharmaceutical companies should increase the salaries of pharmacists and the system of benefits' scheme for the pharmacist employees. The working conditions of pharmacists should be improved; the labor conditions should become more constructive for the pharmacist, providing more beneficial psychological climate within the collective and the possibility of career growth should be accessible to all pharmacists. The pharmacist's work schedule should become more flexible, and the job duration time per week should be reduced on the more effective for pharmacist's labor design. The flexibility will further improve pharmacists' workability and motivation toward the job, and also contribute to improve pharmacists' satisfaction according to the time duration of a job.

The level of basic training of pharmacists should be in compliance with the contemporary requirements. The pharmacist should have deep knowledge in pharmacology, in pharmacotherapy, in toxicology, in pharmaceutical care, in clinical pharmacy, in pharmacokinetics, in pharmacodynamics, in basic of medicine and in other pre-clinical and clinical directions. Such knowledge can be obtained only in the higher pharmaceutical education institutions. Therefore, pharmacist working in pharmacy must have only higher pharmaceutical education.

The results further demonstrate that strengthening the scientific foundation of pharmacy practice is essential for improving healthcare quality and advancing pharmaceutical services globally. Modern pharmacy increasingly relies upon translational research, clinical pharmacology, pharmacoepidemiology, pharmacoeconomics, health technology assessment, implementation science, and outcomes research. These scientific disciplines provide pharmacists with robust evidence for optimizing medication therapy, evaluating healthcare interventions, assessing treatment effectiveness, and informing healthcare policy decisions. Consequently, pharmacists should be encouraged to participate actively in scientific research, interdisciplinary collaborations, and knowledge translation initiatives that bridge laboratory discoveries with clinical application.

The growing complexity of medication therapy has substantially increased the importance of comprehensive medication management (CMM). Patients frequently receive multiple medications prescribed by several healthcare providers, creating significant risks of drug interactions, therapeutic duplication, adverse drug events, and inappropriate prescribing. Pharmacists possess specialized expertise that enables them to perform systematic medication reviews, reconcile medication histories, identify medication-related problems, recommend therapeutic modifications, and monitor patient outcomes. The present findings support

expanding pharmacist-led comprehensive medication management services across primary care, hospitals, long-term care facilities, and community healthcare settings to improve medication safety and therapeutic effectiveness.

An equally important finding concerns pharmacists' contribution to chronic disease management. Chronic diseases—including diabetes mellitus, hypertension, cardiovascular diseases, chronic respiratory disorders, cancer, chronic kidney disease, and mental health conditions—represent the leading causes of morbidity and mortality worldwide. Effective management of these conditions requires continuous medication monitoring, patient education, lifestyle counseling, therapeutic adjustment, and long-term follow-up. Pharmacists are ideally positioned to support these activities because of their accessibility, pharmacotherapeutic expertise, and frequent interaction with patients. Expanding pharmacist involvement in chronic disease management programs may therefore improve disease control, reduce healthcare utilization, and enhance patients' quality of life.

The survey findings also reinforce the strategic importance of preventive healthcare. Modern pharmacists increasingly participate in vaccination services, smoking cessation programs, health screening initiatives, cardiovascular risk assessment, diabetes prevention, antimicrobial stewardship, travel medicine, nutritional counseling, and community health promotion. These preventive activities contribute substantially to reducing disease burden while supporting national public health priorities. Healthcare systems should therefore recognize pharmacists as essential public health professionals capable of extending preventive healthcare services to diverse populations.

Another important observation concerns the pharmaceutical industry's evolving relationship with healthcare delivery. Contemporary pharmacists working in pharmaceutical manufacturing, biotechnology companies, regulatory agencies, clinical research organizations, and academic institutions contribute significantly to medicine development, quality assurance, regulatory compliance, pharmacovigilance, and pharmaceutical innovation. Their expertise extends throughout the entire medicine lifecycle—from drug discovery and clinical development to regulatory approval, post-marketing surveillance, and real-world effectiveness evaluation. This broad professional scope demonstrates that pharmacy is simultaneously a clinical, scientific, industrial, and regulatory profession requiring multidisciplinary competencies.

International comparisons indicate that countries with well-integrated pharmacy services generally achieve superior healthcare outcomes, lower rates of medication-related harm, improved chronic disease management, and greater patient satisfaction. Healthcare systems that formally recognize pharmacists as clinical practitioners demonstrate stronger interdisciplinary collaboration, more effective medication optimization, and better utilization of pharmaceutical expertise. These observations suggest that policymakers should continue expanding pharmacists' clinical authority while implementing legislative reforms that facilitate collaborative practice agreements and integrated healthcare delivery.

The globalization of pharmaceutical education has further emphasized the necessity for internationally comparable competency standards. Educational harmonization facilitates academic collaboration, professional mobility, research partnerships, and mutual recognition of qualifications. Nevertheless, educational institutions must balance international competency frameworks with national healthcare priorities, cultural diversity, local epidemiological characteristics, and country-specific regulatory requirements. Competency-based education, supported by measurable learning outcomes and standardized assessment methods, provides an effective approach for ensuring educational quality while maintaining flexibility for national adaptation.

The present findings additionally underscore the importance of health literacy in achieving successful therapeutic outcomes. Many medication-related problems arise because patients misunderstand treatment instructions, dosing schedules, potential adverse effects, or therapeutic expectations. Pharmacists play a pivotal role in improving health literacy through individualized counseling, culturally appropriate communication, educational materials, digital health resources, and patient-centered consultation. Improving population health literacy not only enhances medication adherence but also empowers patients to participate actively in shared clinical decision-making and self-management of chronic diseases.

Another emerging area influencing pharmaceutical practice is environmental sustainability. The pharmaceutical sector increasingly recognizes its responsibility to minimize environmental contamination arising from medicine production, distribution, consumption, and disposal. Pharmacists contribute to environmentally responsible healthcare through safe medication disposal programs, promotion of rational prescribing, reduction of pharmaceutical waste, implementation of green pharmacy principles, and education regarding environmentally sustainable pharmaceutical practices. Incorporating sustainability concepts into pharmacy education may strengthen the profession's contribution to global environmental health initiatives.

The findings further demonstrate that quality assurance systems are fundamental to maintaining professional excellence. Standard operating procedures, clinical practice guidelines, competency assessment, accreditation standards, continuous quality improvement programs, medication safety indicators, and performance evaluation systems collectively support high-quality pharmaceutical services. Healthcare organizations should implement comprehensive quality management frameworks that encourage continuous monitoring, evidence-based practice, patient safety reporting, and organizational learning.

Innovation within pharmaceutical education represents another strategic priority identified by the present investigation. Traditional lecture-based teaching should increasingly be complemented by active learning methodologies, problem-based learning, simulation laboratories, virtual patients, case-based discussions, interprofessional education, digital learning platforms, and experiential clinical training. These educational innovations promote critical thinking, clinical reasoning, communication skills, teamwork, and evidence-based decision-making while preparing graduates for increasingly complex healthcare environments.

The expanding application of artificial intelligence deserves particular consideration. AI technologies have the potential to support medication optimization, automate routine pharmaceutical processes, identify high-risk patients, predict adverse drug reactions, and facilitate personalized pharmacotherapy. Nevertheless, ethical governance, algorithm transparency, data privacy, cybersecurity, and professional oversight remain essential prerequisites for responsible implementation. Pharmacists should therefore receive specialized education regarding digital ethics, health informatics, AI applications, and responsible innovation to ensure safe integration of emerging technologies into clinical practice.

Furthermore, professional resilience has emerged as an increasingly important determinant of healthcare quality. Pharmacists routinely encounter heavy workloads, emotional stress, complex clinical responsibilities, and rapidly changing professional expectations. Organizational support, effective leadership, mentoring, continuing education, mental health promotion, work-life balance, and recognition of professional achievements contribute substantially to workforce resilience. Healthcare institutions should therefore adopt comprehensive workforce well-being strategies that promote psychological safety, professional fulfillment, and long-term career sustainability.

Collectively, these findings indicate that the future of the pharmacy profession will be shaped by five interdependent strategic pillars: clinical excellence, scientific innovation, digital transformation, workforce sustainability, and integrated patient-centered healthcare. Strengthening each of these pillars will require coordinated investment in education, research, healthcare infrastructure, professional regulation, policy development, and international collaboration. Such comprehensive reforms will enable pharmacists to respond effectively to evolving healthcare needs while maximizing their contribution to global health, medication safety, therapeutic effectiveness, and healthcare system resilience.

The present study demonstrates that the pharmacy profession has evolved into a highly specialized, evidence-driven healthcare discipline characterized by expanding clinical responsibilities, technological innovation, interdisciplinary collaboration, and increasing public health significance. Continued investment in competency-based education, lifelong professional development, scientific research, healthcare integration, digital innovation, and regulatory modernization will be essential for ensuring that pharmacists remain indispensable contributors to safe, effective, equitable, and sustainable healthcare systems throughout the twenty-first century.

A critical aspect emerging from the present investigation is the increasing importance of healthcare policy in determining the future trajectory of the pharmacy profession. National pharmaceutical policies, medicine reimbursement systems, healthcare financing mechanisms, professional licensing regulations, and workforce planning strategies collectively influence pharmacists' professional autonomy, scope of practice, and contribution to healthcare delivery. Countries that have implemented progressive pharmaceutical policies generally demonstrate greater pharmacist involvement in direct patient care, collaborative prescribing, medication optimization, preventive healthcare, and chronic disease management. Consequently, evidence-based healthcare policy should continue supporting the expansion of pharmacists' clinical roles while ensuring appropriate governance, accountability, and quality assurance.

The survey findings further emphasize the strategic value of pharmacists in promoting medication safety across all healthcare settings. Medication errors remain among the leading preventable causes of patient harm worldwide, particularly during prescribing, dispensing, administration, and transitions of care. Pharmacists substantially reduce these risks through prescription verification, medication reconciliation, therapeutic monitoring, adverse drug reaction reporting, patient counseling, and participation in multidisciplinary medication safety committees. Their involvement contributes not only to improved clinical outcomes but also to reduced healthcare expenditures associated with preventable medication-related complications.

An important discussion point concerns the evolving concept of pharmaceutical leadership. Modern pharmacists increasingly assume leadership responsibilities extending beyond pharmacy management to include healthcare administration, policy development, clinical governance, academic leadership, research coordination, and quality improvement initiatives. Effective pharmaceutical leadership requires strategic thinking, evidence-based decision-making, organizational management, communication, innovation, ethical responsibility, and collaborative problem-solving. Educational institutions should therefore integrate structured leadership development throughout pharmacy curricula, preparing graduates to lead healthcare transformation within increasingly complex clinical environments.

The findings additionally demonstrate that interdisciplinary collaboration represents one of the strongest determinants of successful pharmaceutical care. Contemporary healthcare increasingly depends upon coordinated teamwork among physicians, pharmacists, nurses, dentists, laboratory scientists, public health specialists, and allied health professionals.

Collaborative healthcare models improve diagnostic accuracy, medication optimization, and continuity of care, patient satisfaction, and healthcare efficiency while reducing unnecessary duplication of services. Pharmacists' expertise in pharmacotherapy complements physicians' diagnostic expertise, creating synergistic approaches that optimize patient outcomes. Expanding interprofessional education during undergraduate training may further strengthen collaborative competencies before graduates enter professional practice.

Professional identity emerged as another significant factor influencing workforce motivation and career commitment. Respondents consistently emphasized the importance of public recognition, professional respect, institutional support, and opportunities for professional growth. A strong professional identity enhances job satisfaction, encourages lifelong learning, strengthens ethical responsibility, and promotes commitment to continuous quality improvement. Professional organizations therefore play an essential role in advocating for pharmacists' contributions, promoting public awareness, establishing professional standards, and supporting career advancement through certification, mentorship, networking, and continuing education.

The rapid expansion of digital health ecosystems presents both opportunities and challenges for pharmacy practice. Electronic prescribing systems, electronic medical records, artificial intelligence, machine learning, wearable health technologies, telemonitoring, mobile health applications, and cloud-based pharmaceutical information systems facilitate more accurate, efficient, and personalized medication management. However, successful implementation depends upon pharmacists possessing advanced digital competencies, including health informatics, cybersecurity awareness, digital ethics, data interpretation, and technology-assisted clinical decision-making. Pharmacy education should therefore incorporate comprehensive digital health competencies as core educational outcomes rather than optional supplementary training.

Another significant observation concerns pharmacists' expanding contribution to pharmacoeconomics and healthcare resource optimization. Escalating healthcare expenditures require healthcare systems to maximize therapeutic value while maintaining financial sustainability. Pharmacists contribute substantially by evaluating comparative effectiveness, conducting cost-effectiveness analyses, recommending formulary optimization, preventing unnecessary medicine utilization, and supporting rational prescribing practices. Their expertise enables healthcare organizations to achieve improved therapeutic outcomes while utilizing limited healthcare resources more efficiently. Consequently, pharmacoeconomic principles should receive greater emphasis within pharmacy education and healthcare policy.

The study also demonstrates that scientific communication has become an increasingly important professional competency. Pharmacists routinely communicate complex pharmacological information to patients, healthcare professionals, policymakers, researchers, and the public. Effective communication facilitates informed decision-making, improves medication adherence, reduces therapeutic misunderstandings, strengthens interdisciplinary collaboration, and promotes public trust in pharmaceutical services. Universities should therefore strengthen communication training through simulation exercises, patient counseling laboratories, interdisciplinary case discussions, scientific writing instruction, and public health communication activities.

International collaboration represents another strategic priority identified through the present analysis. Global health challenges—including pandemics, antimicrobial resistance, medicine shortages, pharmaceutical supply chain disruptions, climate-related health risks, and emerging infectious diseases—cannot be effectively addressed through isolated national efforts.

International cooperation among professional organizations, academic institutions, regulatory authorities, and healthcare systems facilitates knowledge exchange, harmonization of professional standards, collaborative research, workforce mobility, and rapid dissemination of scientific evidence. Strengthening international pharmaceutical partnerships will therefore contribute substantially to global healthcare resilience.

The role of pharmacists in disaster preparedness and emergency response has gained considerable international recognition following recent global health emergencies. Pharmacists contribute to emergency medicine distribution, vaccine administration, public health education, medication continuity, emergency supply chain management, and pharmaceutical logistics during natural disasters, pandemics, humanitarian crises, and armed conflicts. These expanded responsibilities demonstrate that pharmacists are essential components of national emergency preparedness systems. Future workforce planning should therefore incorporate disaster medicine, emergency pharmaceutical care, crisis communication, and emergency logistics within pharmacy education and continuing professional development programs.

An emerging area of discussion concerns the ethical application of artificial intelligence within pharmaceutical care. Although AI technologies possess considerable potential to improve medication management and clinical decision support, pharmacists remain responsible for ensuring transparency, fairness, accountability, patient privacy, and human oversight throughout technology-assisted healthcare delivery. Ethical governance frameworks should therefore accompany technological innovation to preserve patient trust while maximizing the benefits of digital transformation.

The findings further support expanding pharmacists' participation in preventive and population health initiatives. Public health programs focusing on immunization, antimicrobial stewardship, chronic disease screening, smoking cessation, obesity prevention, cardiovascular risk assessment, reproductive health, travel medicine, and healthy aging increasingly rely upon pharmacists' accessibility and professional expertise. These expanded responsibilities strengthen the profession's contribution beyond individual patient care toward improving population health outcomes and reducing healthcare inequalities.

Another notable finding concerns the necessity for continuous curriculum modernization. Pharmacy education should evolve dynamically in response to scientific discoveries, healthcare innovation, technological advancement, regulatory changes, and societal expectations. Competency-based curricula should integrate pharmaceutical sciences with clinical medicine, evidence-based medicine, epidemiology, biostatistics, pharmacogenomics, digital health, health economics, implementation science, leadership, ethics, communication, and research methodology. Such comprehensive educational reform will prepare future pharmacists for increasingly diverse professional responsibilities while supporting lifelong professional adaptability.

From a global perspective, workforce sustainability remains one of the defining challenges facing pharmacy during the coming decades. Population aging, increasing chronic disease prevalence, expanding pharmaceutical innovation, workforce migration, demographic changes, and healthcare workforce shortages collectively necessitate strategic long-term workforce planning. Sustainable workforce development requires coordinated investment in education, recruitment, retention, professional recognition, leadership development, career progression, continuing education, and organizational well-being. Governments and healthcare organizations should therefore adopt evidence-informed workforce strategies that ensure sufficient numbers of competent pharmacists capable of meeting future healthcare demands.

The expanded findings of this study demonstrate that the pharmacy profession is undergoing

an unprecedented period of scientific, clinical, educational, technological, and organizational transformation. The future success of the profession will depend upon its ability to integrate evidence-based practice, clinical excellence, digital innovation, workforce sustainability, interdisciplinary collaboration, regulatory modernization, and patient-centered care into a coherent professional framework. By embracing these strategic priorities, pharmacists will continue strengthening their indispensable role within modern healthcare systems while contributing significantly to improved health outcomes, medication safety, healthcare efficiency, and global public health.

CONCLUSION

- The study confirms that clinical excellence, professional competency, scientific knowledge, communication skills, ethical responsibility, and lifelong learning constitute the essential foundations of modern pharmacy practice. Pharmacists are increasingly expected to combine advanced pharmaceutical expertise with patient-centered communication, interdisciplinary collaboration, and digital literacy, leadership, and research competencies to meet the complex healthcare needs of contemporary societies. Consequently, competency-based education, continuing professional development, and standardized certification systems have become indispensable for maintaining professional excellence and ensuring high-quality pharmaceutical services.
- The investigation further highlights the strategic importance of pharmaceutical innovation in shaping the future of pharmacy practice. Advances in artificial intelligence, telepharmacy, pharmacogenomics, electronic health records, clinical decision-support systems, personalized medicine, biotechnology, and digital therapeutics are transforming pharmaceutical care and expanding pharmacists' professional responsibilities. Although these technological innovations substantially improve healthcare accessibility, efficiency, and clinical decision-making, they simultaneously require pharmacists to acquire new competencies in digital health, health informatics, data interpretation, cybersecurity, and ethical technology utilization. Therefore, pharmacy education must evolve continuously to prepare graduates capable of practicing effectively within increasingly technology-driven healthcare environments.
- Workforce sustainability emerged as another critical determinant of the profession's future development. The findings indicate that professional satisfaction, career advancement opportunities, supportive organizational cultures, equitable remuneration, continuing education, leadership development, and psychological well-being significantly influence workforce recruitment, retention, and long-term professional commitment. Addressing workforce shortages, occupational stress, educational disparities, and professional recognition should therefore become strategic priorities for governments, regulatory authorities, healthcare organizations, universities, and professional associations seeking to strengthen national pharmaceutical services.
- The results also demonstrate that healthcare integration represents one of the most significant opportunities for maximizing pharmacists' contribution to patient care. Effective collaboration among pharmacists, physicians, nurses, and other healthcare professionals enhances medication safety, optimizes pharmacotherapy, reduces preventable medication-related problems, and improves clinical outcomes. Expanding collaborative practice models, interdisciplinary education, and integrated healthcare delivery systems will enable pharmacists to utilize their full professional potential while contributing more effectively to comprehensive patient-centered care.

- Another important conclusion concerns the necessity of educational modernization. Pharmacy curricula should increasingly emphasize clinical pharmacology, evidence-based medicine, pharmacogenomics, pharmaceutical care, digital health technologies, health informatics, leadership, communication sciences, pharmacoeconomics, implementation science, research methodology, ethics, and interprofessional education. Experiential learning, simulation-based training, competency-based assessment, and lifelong professional development should become central components of pharmacy education to ensure graduates possess the competencies required for rapidly evolving healthcare systems.
- The present study further confirms that evidence-based pharmaceutical practice should remain the scientific foundation of professional decision-making. Pharmacists must continue integrating high-quality clinical evidence, professional expertise, and patient preferences to optimize medication therapy, promote rational medicine use, improve patient safety, and support sustainable healthcare delivery. Active participation in clinical research, pharmacovigilance, real-world evidence generation, health services research, and quality improvement initiatives will further strengthen pharmacists' scientific contribution to healthcare innovation and policy development.
- From a global perspective, strengthening the pharmacy profession requires coordinated international efforts involving governments, universities, healthcare institutions, regulatory agencies, accreditation organizations, and professional associations. Harmonized competency frameworks, standardized educational outcomes, effective regulatory systems, workforce planning, digital transformation strategies, and evidence-informed healthcare policies will support the continued advancement of pharmaceutical practice while facilitating international collaboration and professional mobility.
- The future success of the pharmacy profession will depend upon its ability to integrate scientific excellence, clinical expertise, technological innovation, workforce resilience, healthcare integration, and patient-centered care into a comprehensive professional model. By embracing these strategic priorities, pharmacists will continue to expand their indispensable contribution to medication safety, therapeutic effectiveness, disease prevention, healthcare quality, and global public health.
- The redefining the global pharmacy profession is not merely an academic or professional objective but a healthcare imperative. Strengthening pharmacists' education, expanding their clinical responsibilities, promoting continuous professional development, fostering interdisciplinary collaboration, supporting research and innovation, and implementing evidence-based healthcare policies will collectively enhance pharmaceutical care and improve health outcomes worldwide. The findings of this study provide a robust scientific foundation for future educational reforms, professional development strategies, workforce policies, and healthcare initiatives that will ensure the pharmacy profession remains an essential pillar of safe, effective, equitable, innovative, and sustainable healthcare systems in the twenty-first century.
- The findings of this study demonstrate that the global pharmacy profession is undergoing a fundamental transformation from a product-oriented discipline focused primarily on medication dispensing to a patient-centered clinical profession that plays a pivotal role in improving healthcare quality, medication safety, and population health. Contemporary pharmacists have become integral members of multidisciplinary healthcare teams, contributing to medication therapy management, evidence-based clinical decision-making, chronic disease management, pharmacovigilance, public health promotion, precision medicine, antimicrobial stewardship, digital healthcare, and pharmaceutical innovation. This evolution reflects the

growing recognition of pharmacists as highly qualified healthcare professionals whose expertise extends throughout the continuum of patient care.

RECOMMENDATIONS

Based on the findings of this study, several evidence-based recommendations are proposed to strengthen the global pharmacy profession and enhance pharmacists' contribution to healthcare systems, patient safety, pharmaceutical innovation, and sustainable healthcare delivery.

- **Implement Competency-Based Certification Systems**: Governments and regulatory agencies should introduce standardized competency-based licensing and periodic recertification systems that assess pharmacists' professional knowledge, clinical skills, ethical practice, and communication competencies. Such systems will improve professional accountability, enhance public trust, and ensure consistent quality of pharmaceutical services.
- **Expand Clinical Responsibilities of Pharmacists**: Healthcare policymakers should broaden pharmacists' scope of practice by increasing their involvement in medication therapy management, chronic disease management, vaccination services, antimicrobial stewardship, pharmacovigilance, medication reconciliation, preventive healthcare, pharmacogenomic consultation, and collaborative prescribing within multidisciplinary healthcare teams.
- **Strengthen Interprofessional Collaboration**: Healthcare institutions should promote collaborative practice models involving physicians, pharmacists, nurses, dentists, public health professionals, and other healthcare providers. Interprofessional education should be integrated into undergraduate and postgraduate curricula to improve communication, teamwork, and coordinated patient-centered care.
- **Accelerate Digital Transformation**: Healthcare organizations should invest in electronic health records, clinical decision-support systems, artificial intelligence applications, telepharmacy services, automated dispensing technologies, digital prescribing platforms, and health information systems. Pharmacists should receive specialized education in digital health, cybersecurity, data analytics, and ethical application of emerging technologies.
- **Enhance Workforce Sustainability**: Governments and employers should develop comprehensive workforce strategies addressing pharmacist recruitment, retention, equitable remuneration, career advancement, workplace safety, flexible employment policies, leadership development, and occupational well-being. Improving working conditions and professional recognition will strengthen workforce resilience and reduce professional burnout.
- **Increase Investment in Pharmaceutical Research**: Academic institutions, healthcare organizations, and funding agencies should encourage pharmacists' participation in clinical research, pharmacoepidemiology, pharmacovigilance, implementation science, pharmacoeconomics, outcomes research, and real-world evidence generation. Research training should become an integral component of pharmacy education at all academic levels.
- **Promote Evidence-Based Pharmaceutical Practice**: Healthcare systems should encourage pharmacists to routinely apply evidence-based medicine principles by critically evaluating scientific literature, clinical guidelines, systematic reviews, and pharmacoeconomic evidence when making therapeutic recommendations. Evidence-informed pharmaceutical care should become the standard model of clinical practice.
- **Strengthen Public Health Functions**: National healthcare systems should expand pharmacists' participation in preventive healthcare activities, including vaccination campaigns, smoking cessation programs, chronic disease screening, antimicrobial stewardship, travel medicine, nutritional counseling, health promotion, and emergency preparedness. Community pharmacies should be recognized as accessible public health centers.

- **Advance Precision Medicine and Pharmacogenomics**: Universities and healthcare institutions should incorporate pharmacogenomics, personalized medicine, molecular pharmacology, and genomic therapeutics into pharmacy curricula and clinical practice. Pharmacists should be trained to interpret pharmacogenomic data and collaborate with physicians to optimize individualized pharmacotherapy.
- **Improve Healthcare Policy and Regulatory Frameworks**: Governments should modernize pharmaceutical legislation to support expanded pharmacist roles, competency-based professional regulation, collaborative practice agreements, digital healthcare integration, medication safety initiatives, and evidence-based workforce planning. Regulatory frameworks should facilitate innovation while maintaining patient safety and professional accountability.
- **Foster International Collaboration**: Professional organizations, universities, accreditation bodies, and healthcare institutions should strengthen international partnerships through collaborative research, academic exchange programs, harmonized competency standards, shared educational resources, and multinational workforce development initiatives. International cooperation will facilitate professional mobility and improve global pharmaceutical practice.
- **Promote Leadership Development**: Leadership education should become an integral component of pharmacy training. Pharmacists should develop competencies in strategic planning, healthcare management, policy development, quality improvement, organizational leadership, change management, and conflict resolution to enable active participation in healthcare administration and policy implementation.
- **Strengthen Medication Safety Programs**: Healthcare organizations should expand pharmacist-led medication safety initiatives, including medication reconciliation, adverse drug reaction monitoring, medication error reporting, prescription review, therapeutic drug monitoring, and patient counseling. These interventions will reduce preventable medication-related harm and improve healthcare quality.
- **Enhance Health Literacy**: Pharmacists should play a greater role in improving public health literacy by providing comprehensive medication counseling, culturally appropriate patient education, digital health information, and individualized therapeutic guidance. Improved health literacy promotes medication adherence, informed decision-making, and better clinical outcomes.
- **Integrate Sustainability into Pharmacy Practice**: The pharmacy profession should actively support environmentally sustainable healthcare by promoting rational medicine use, safe pharmaceutical waste disposal, environmentally responsible procurement, green pharmacy principles, and sustainable pharmaceutical manufacturing practices. Environmental stewardship should become an emerging competency within pharmacy education.
- **Support Quality Assurance and Accreditation**: Healthcare organizations should establish comprehensive quality management systems that include standardized clinical protocols, competency assessment, performance indicators, accreditation standards, continuous quality improvement, and routine evaluation of pharmaceutical services. These measures will strengthen patient safety and professional excellence.
- **Develop a Global Strategic Framework for Pharmacy:** International organizations, including the World Health Organization (WHO), the International Pharmaceutical Federation (FIP), governments, universities, and healthcare stakeholders, should collaborate to develop a comprehensive global strategic framework that promotes clinical excellence, scientific innovation, digital transformation, workforce sustainability, healthcare integration, educational modernization, and patient-centered pharmaceutical care. Such a framework would facilitate

harmonized professional standards and strengthen the contribution of pharmacists to universal health coverage and sustainable healthcare systems worldwide. Collectively, these recommendations provide a comprehensive roadmap for advancing the pharmacy profession in the twenty-first century. Their implementation will strengthen pharmacists' professional competencies, improve medication safety, foster scientific innovation, support workforce sustainability, enhance interdisciplinary healthcare collaboration, and ultimately improve patient outcomes and global public health.

- **Modernize Pharmacy Education**: Higher education institutions should continuously update pharmacy curricula to reflect advances in pharmaceutical sciences, clinical pharmacology, precision medicine, pharmacogenomics, digital health, artificial intelligence, evidence-based medicine, pharmacoeconomics, implementation science, and healthcare informatics. Educational programs should emphasize competency-based learning, clinical reasoning, critical thinking, communication skills, leadership, ethical decision-making, and interprofessional collaboration to prepare graduates for evolving healthcare environments.
- **Strengthen Experiential and Clinical Training**: Universities should expand experiential learning opportunities through structured clinical rotations, simulation-based education, hospital internships, community pharmacy placements, interdisciplinary clinical practice, and patient-centered pharmaceutical care. Stronger collaboration between academic institutions and healthcare organizations will facilitate the transition from theoretical education to professional practice.
- **Promote Lifelong Professional Development**: National pharmacy councils, professional organizations, and regulatory authorities should establish mandatory continuing professional development (CPD) programs to ensure pharmacists maintain contemporary scientific knowledge and clinical competencies throughout their careers. Regular participation in accredited educational programs, scientific conferences, workshops, online learning platforms, and professional certification courses should become an essential requirement for professional practice.

Acknowledgments: Authors wish to Thank to Ministry of Education and Sciences of Georgia and Ministry of Education and Sciences of Armenia and Gratitude to Yerevan State Medical University and to Tbilisi State Medical University.

REFERENCES

1. Nodar Sulashvili. Peculiarities Of Professional And Career Improvement Strategy For Pharmacists Republic of Armenia Ministry Of Education And Science; Yerevan State Medical University After M. Heratsi; Abstract of The Dissertation For The Scientific of PhD In Pharmaceutical Sciences; On Specialty 15.00.01 – Pharmacy; The Specialized Council 026 “Theoretical Medicine” of The Supreme Certifying Committee Of The Republic Of Armenia At The Yerevan State Medical University. YEREVAN – 2019; Pp 1-26.
2. Van Mil J. F., Schulz M., Tromp TFD. Pharmaceutical care, European developments in concepts, implementation, teaching, and research: a review // Pharm World Sci. 2014;26(6); pp. 303–321.
3. N. Sulashvili, N. Chichoyan, O. Gerzmava, T. Tsintsadze, L. Gabunia, N. Kvizhinadze, T. Okropiridze, M. Beglaryan; ORGANIZATIONAL AND REGULATORY FRAMEWORK, AND IDENTIFY THE MAIN EDUCATIONAL ISSUES AND POTENTIALS OF YOUNG PHARMACISTS IN GEORGIA; УДК: 615.014.2:615.2 НФаУ, 2020; Scientific Publication; The collection of MATERIALS of the V International Scientific

and Practical conference- “TECHNOLOGICAL AND BIOPHARMACEUTICAL ASPECTS OF DRUGS DEVELOPING WITH DIFFERENT ORIENTATION OF ACTION”; MINISTRY OF HEALTH OF UKRAINE, National University of Pharmacy, Department of drug technology. 26 of November, Kharkiv, Ukraine-2020. Pp 51-69.

4. Global Respiratory Infection Partnership. Antibiotic resistance: prioritising the patient. Report from the Global Respiratory Infection Partnership; 2015. http://www.grip-initiative.org/media/114428/recstr-grip-cta-meeting-report.pdf. Accessed June 16, 2016.

5. N. Sulashvili, N. Kvizhinadze, M. Beglaryan; JUNIOR PHARMACIST WORK GRATIFICATION AND VOCATIONAL TRAITS; ISBN УДК 61 (063), М 34. THEORETICAL RESEARCH; MINISTRY OF HEALTH OF UKRAINE, DONETSK NATIONAL MEDICAL UNIVERSITY. MATERIALS of the 82nd All-Ukrainian Scientific Medical Congress of Students and Young Scientists “Medicine of the XXI Century” (with international participation). Devoted to the 90th anniversary of Donetsk National Medical University and the 90th anniversary of Student Scientific Society named after professor M. D. Dovgyallo; September 24-25, 2020, Lyman, Donetsk, Ukraine. Pp 272.

6. Fielding S, Porteous T, Ferguson J, Maskrey V, Blyth A, Paudyal V, et al. Estimating the burden of minor ailment consultations in general practices and emergency departments through retrospective review of routine data in North East Scotland. Fam Pract. 2015;32(2):165–72.

7. N. Sulashvili, M. Beglaryan, I. Zarnadze, Sh. Zarnadze, N. Alavidze, N. Abuladze, J. Cheishvili, N. Kvizhinadze; VOCATIONAL PERSPECTIVES AND THE MAIN PROFESSIONAL OPPORTUNITIES AND CHALLENGES OF PHARMACY FACULTY STUDENTS IN GEORGIA; УДК: 615.014.2:615.2 НФаУ, 2020. Scientific Publication. The collection of MATERIALS of the V International Scientific and Practical conference- “TECHNOLOGICAL AND BIOPHARMACEUTICAL ASPECTS OF DRUGS DEVELOPING WITH DIFFERENT ORIENTATION OF ACTION”; MINISTRY OF HEALTH OF UKRAINE, National University of Pharmacy, Department of drug technology. 26 of November, Kharkiv, Ukraine-2020.Pp 35-51.

8. PGEU Annual Report 2014. Promoting efficiency, improving lives. PGEU; 2015. http://www.pgeu.eu/en/component/content/article/34-homepage-topics/ 16-pgeu-annual-report.html. Accessed June 16, 2016.

9. N. Sulashvili, M. Beglaryan; Pharmacist Vocational Features, Regulations Framework and Profession Enhancement Challenges of Pharmaceutics.Caucasus Journal of Health Sciences and Public Health; E ISSN 2449-2450; ISSN 2449-2647; The University of Georgia Publishing House.www.caucasushealth.ge; Official Journal of the University of Georgia and Iv. Javakhishvili Tbilisi State University with Support of the Arctic University of Tromsø/Norway. Volume 4, Supplement 8, July 20-24, 2020; Pp 31-36.

10. N. Kvizhinadze, D. Tophuria, N. Intskirveli, N. Sulashvili; Study of Factors Affecting on Population’s Health Improvement.Caucasus Journal of Health Sciences and Public Health; E ISSN 2449-2450; ISSN 2449-2647; The University of Georgia Publishing House. www.caucasushealth.ge; Official Journal of the University of Georgia and Iv. Javakhishvili Tbilisi State University with Support of the Arctic University of Tromsø/Norway. Volume 4, Supplement 8, July 20-24, 2020; Pp 42-45.

11. Thomas R. Brown; By Thomas R. Brown - Handbook of Institutional Pharmacy Practice // 4th (fourth) Edition; American Society of Health-System Pharmacists (December 1, 2006); pp. 65-71.

12. Sulashvili, N., Beglaryan M., Matoshvili M. Vocational features of pharmaceutical workers, viewed by the chief pharmacists // Caucasus Journal of Health Sciences and Public Health. Volume 2, Issue 2, June 2018.Tbilisi-Georgia. pp. 56-61.
13. Mary E. Mohr RPhMS; Standards of Practice for the Pharmacy Technician (Lww Pharmacy Technician Education) // LWW; Student edition (January 20, 2009);pp. 312-336.
14. N. Sulashvili, N. Chichoyan, O. Gerzmava, T. Tsintsadze, L. Gabunia, N. Kvizhinadze, M. Beglaryan; SINGULARITIES OF PHARMACEUTICAL ORGANIZATIONAL AND REGULATION ISSUE ASPECTS VISION BY PUBLIC HEALTH SPECIALISTS.ISBN 978-9941-448-61-4 Collection of scientific papers; THE II INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PRACTICAL INTERNET CONFERENCE "MODERN PHARMACY – SCIENCE AND PRACTICE" PROCEEDINGS; AKAKI TSERETELI STATE UNIVERSITY, FACULTY OF MEDICINE; KUTAISI-GEORGIA 01.12.2020-21.12.2020, Pp 131-140.
15. Linacre JM, Wright B. Interpreting output tables. A User's Guide to BIG STEPS WINSTEPS Rasch Model Computer Program. Chicago: MESA Press; 2011.
16. N. Sulashvili, N. Kvizhinadze, N. Abuladze, M. Beglaryan, N. Alavidze, M. Sulashvili; THE ROLE OF THE PHARMACIST AND MODERN PECULIARITIES OF THE PHARMACIST PROFESSION, VIEWED BY THE PATIENTS AND PUBLIC HEALTH SPECIALISTS THROUGH PHARMACEUTICAL CARE DIVISION IN PHARMACIES IN GEORGIA; УДК: 579:578:61(06) © НФаУ, 2021; Materials of the Scientific and Practical International Distance Conference-"MICROBIOLOGICAL AND IMMUNOLOGICAL RESEARCH IN MODERN MEDICINE"; MINISTRY OF HEALTH OF UKRAINE; NATIONAL UNIVERSITY OF PHARMACY; DEPARTMENT OF MICROBIOLOGY, VIROLOGY AND IMMUNOLOGY; 26 March, 2021; KHARKIV - 2021; Pp:147-149.
17. Frost MH, Reeve BB, Liepa AM, Stauffer JW, Hays RD. What Is Sufficient Evidence for the Reliability and Validity of Patient-Reported Outcome Measures? Value Health.2007.
18. N. Sulashvili, M. Beglaryan, L. Gabunia, I. Zarnadze, Sh. Zarnadze, T. Tsintsadze, M. Sulashvili; THE SCIENTIFIC DISCUSSIONS OF THE CONTEMPORARY FEATURES AND CHALLENGES OF THE PHARMACISTS VOCATIONAL DEVELOPMENT STRATEGIES, BY THE OPINION OF HEALTH-CARE SPECIALISTS AND PATIENTS, DIRECTED THROUGH THE PHARMACEUTICAL CARE DIVISION; УДК 615:616-08; © НФаУ, 2021 Materials of the V International Scientific and Practical Conference; «Medical drugs for humans. Modern issues of pharmacotherapy and prescription of medicine»; MINISTRY OF HEALTH OF UKRAINE; DEPARTMENT OF HEALTHCARE; NATIONAL UNIVERSITY OF PHARMACY, EDUCATIONAL AND SCIENTIFIC INSTITUTE OF APPLIED PHARMACY; 11-12 of March 2021 , UKRAINE, Kharkiv-2021; Pp:140-144.
19. Sosabowski MH, Ingram MJ. 21st century issues in pharmacy education in the United Kingdom. Am J Pharm Educ. 2003;67(4):Article 122.
20. N. Sulashvili, N. Kvizhinadze, Kh. Jojua, O. Gerzmava, M. Beglaryan; Pharmaceutical specific vocational activities and professional scope features of Georgian pharmacists; UDC 001.1 ISBN 978-91-87224-07-2 SSPG Publish. Stockholm, Sweden. 2020. Collection of scientific articles of the scientific and practical publications. Abstracts of VI International Scientific and Practical Conference "MODERN SCIENCE: PROBLEMS AND INNOVATIONS" Stockholm, Sweden 23-25 August, 2020; Pp105-118.

21. British Pharmaceutical Students' Association. The imbalance between pre-registration training and undergraduate pharmacy student numbers: A BPSA discussion paper. Accessed April 9, 2014.
22. N. Sulashvili. PECULIARITIES OF PROFESSIONAL AND CAREER IMPROVEMENT STRATEGY FOR PHARMACISTS; REPUBLIC OF ARMENIA MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE;YEREVAN STATE MEDICAL UNIVERSITY AFTER M. HERATSI; ABSTRACT of the dissertation for the scientific degree of PhD in Pharmaceutical Sciences; On specialty 15.00.01 – Pharmacy;The Specialized Council 026 "Theoretical Medicine" of the Supreme Certifying Committee of the Republic of Armenia at the Yerevan State Medical University. YEREVAN – 2019; Pp 1-26.
23. National Matching Services. Summary results of the match for positions beginning in 2014. https://www.natmatch.com/ashprmp/ stats/2014applstats.html. Accessed March 24, 2014
24. N. Sulashvili, M. Beglaryan, M. Sulashvili, N. Kvizhinadze, N. Kiknavelidze; JOB SATISFACTION PROPOSALS AND CHALLENGES OF GEORGIAN PHARMACISTS; UDC 001.1 ISBN 978-92-9472-197-6 Collection of scientific articles of the scientific and practical publication. Abstracts of II International Scientific and Practical Conference" THE WORLD OF SCIENCE AND INNOVATION"; London, United Kingdom, 16-18 September -2020. Pp 175-190.
25. Hassell K. Centre for Pharmacy Workforce Studies (CPWS) briefing paper: GPhC register
analysis2011.http://www.pharmacy.regulation.org/sites/default/files/Analysis%20of%20GPhC%20Pharmacist%20Register%202011.pdf. Accessed April 9, 2014.
26. Pharmacist's professional features and work gratification/ N. Sulashvili; M.Beglaryan // Black sea scientific journal of academic research multidiscipline journal. (Medicine, Pharmacy sciences) Volume 29. March-April 2016. Tbilisi, Georgia, p.62-68.
27. Pharmacists' professional features, viewed by the customer's (customer's) eyes in Georgia/
28. N. Sulashvili, M. Beglaryan // Scientific-Practical Journal. Experimental and Clinical Medicine, №4, 2017. Tbilisi, Georgia, p. 22-25.
29. Characteristics of pharmacist activity, viewed by the customer's / N.Sulashvili. M. Beglaryan // International Science and Innovation Festival 2017. Conferences "Healthy Lifestyle-Scientific Evidence and Controversial issues" and "Innovation in Medicine" Tbilisi State Medical University. September 2017. Tbilisi, Georgia, p. 30-31.
30. Professional features for employed pharmacy faculty students' in Georgia / N.Sulashvili, M.Beglaryan // The New Armenian Medical Journal Supplement. YSMU Science Week 2017 Conference. November 27-December 1**,** Vol.11, №3 2017, Yerevan, Republic of Armenia, p. 40.
31. Wittayanukorn S, Westrick SC, Hansen RA, et al. Evaluation of medication therapy management services for patients with cardiovascular disease in a self-insured employer health plan. J Manag Care Pharm. 2013.
32. Sulashvili, N., Beglaryan M., Sulashvili M. Personal features, capabilities and skills of job adaptation for pharmacist specialists //Tbilisi David Agmashenebeli University Periodical scientific Journal №13, 2018. Tbilisi, Georgia. pp. 231-236.
33. Isett's BJ, Schondelmeyer SW, Artz MB, et al. Clinical and economic outcomes of medication therapy management services: the Minnesota experience. J Am Pharm Assoc (2003). 2018.

34. N. Sulashvili, M. Beglaryan, N. Gorgaslidze, N. Alavidze, N. Abuladze, N. Chichoyan, T. Okropiridze. The higher educational challenges, recent pharmaceutical professional issues and vocational specification of pharmacists in Georgia. УДК 615.1:339.188 ISSN 2415-8593 MATERIALS OF IX INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PRACTICAL CONFERENCE- "MANAGEMENT AND MARKETING IN THE MODERN ECONOMY, SCIENCE, EDUCATION, AND PRACTICE". MINISTRY OF HEALTH OF UKRAINE; MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE; UKRAINIAN MARKETING ASSOCIATION, NATIONAL PHARMACEUTICAL UNIVERSITY OF UKRAINE, DEPARTMENT OF PHARMACEUTICAL MANAGEMENT AND MARKETING. MARCH 18, 2021, KHARKIV-2021. Pp 53-68.
35. Delate T, Chester EA, Stubbings TW, Barnes CA. Clinical outcomes of a home-based medication reconciliation program after discharge from a skilled nursing facility. Pharmacotherapy. 2008.
36. N. Sulashvili, M. Beglaryan, O. Gerzmava, I. Zarnadze, Sh. Zarnadze, N. Kvizhinadze, M. Sulashvili; MODERN FEATURES AND CHALLENGES OF THE PHARMACIST PROFESSION, VIEWED BY THE PATIENTS AND PUBLIC HEALTH SPECIALISTS VIA PHARMACEUTICAL CARE DIRECTION IN PUBLIC HEALTH SETTINGS; REPUBLIC OF ARMENIA ISSN 1829-040X, ORCID: 0000-0001-9263-6791, BULLETIN OF THE MEDICAL INSTITUTE AFTER MEHRABYAN, VOL. 9 TOM, YEREVAN 2020, Pp 105-120.
37. Schnipper JL, Kirwin JL, Cotugno MC, et al. Role of pharmacist counseling in preventing adverse drug events after hospitalization.Arch Intern Med. 2016.
38. N. Kvizhinadze, N. Dughashvili, N. Nikuradze, N. Sulashvili; PHARMACEUTICAL ACTIVITIES PECULIARITIES IN GEORGIA.UDC 001.1 ISBN 978-1-4879-3793-5 Abstracts of VI International Scientific and Practical Conference- "World Science: Problems, Prospects And Innovations"; Toronto, Canada; February 23-25, 2021; Pp: 59-60.
39. M. Sulashvili, M. Beglaryan, N. Kvizhinadze, N. Sulashvili; Pharmacists' working professional challenges in vocational practice; Scientific edition. IV International Scientific and Practical Conference. «Medical Drugs for Human. Modern Issues of Pharmacotherapy and Prescription of Medicine». 12-13 of March-2020; the National University of Pharmacy in Xarkov in Ukraine; Ministry of health of Ukraine. Pp 71-73.
40. Clinical Skills for Pharmacists: A Patient-Focused Approach //3 edition (Tietze, Clinical Skills for Pharmacists) by Karen J. TietzePharmD (Mar 31, 2011).
41. Red-Hot Careers; Clinical pharmacist RED-HOT Career Guide; 2592 REAL Interview Questions // Create Space Independent Publishing Platform 2017;pp. 216-242.
42. Karen J. TietzePharmD; Clinical Skills for Pharmacists: A Patient-Focused Approach, 3e (Tietze, Clinical Skills for Pharmacists) // Mosby; 3 edition (March 31, 2011); pp. 64-96.
43. N. Sulashvili, N. Kvizhinadze, M. Gogashvili, M. Beglaryan; Common characteristics and scope of young pharmacist professionals in Georgia; Materials of 12th Scientific and Practical Internet Conferences, The National University of Pharmacy, Scientific and Practical Internet-Conference: «Pharmacoeconomics in Ukraine, Condition and Development Prospects», (Kharkiv, Ukraine, May 22, 2020 Year). Pp 153-156.
44. Royal Pharmaceutical Society (RPS). Foundation Pharmacy Framework, a Framework for Professional Development in Foundation Practice across Pharmacy // London: Royal Pharmaceutical Society; 2014.
45. N. Sulashvili; PECULIARITIES OF PROFESSIONAL AND CAREER IMPROVEMENT STRATEGY FOR PHARMACISTS; REPUBLIC OF ARMENIA

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE; YEREVAN STATE MEDICAL UNIVERSITY AFTER M. HERATSI; DISSERTATION; Dissertation for the Scientific Degree of PhD in Pharmaceutical Sciences; On specialty 15.00.01 – Pharmacy; YEREVAN – 2019; Pp 1-175;
46. Bryant L.J. M., Coster G., Gamble G. D., McCormick R. N. General practitioners' and pharmacists' perceptions of the role of community pharmacists in delivering clinical services. // Res. Soc. Adm. Pharm. 2009; 5; pp.347–362.
47. Cruthirds D. L. Hughes P. J. Weaver S. Value of pharmacy services to the healthcare system: an interdisciplinary assessment // Int J Pharm Pract. 2013;21(1):38–45.
48. Wongwiwatthananukit S, Popowich N. G. Applying the ARCS model of motivational design to pharmaceutical education // Am J Pharm Educ. 2010; 64: pp. 168–196.
49. Casserlie, L. M., &Mager, N. A. D. (2016). Pharmacists' perceptions of advancing public health priorities through medication therapy management // Pharmacy Practice, 14(3), pp.792-798.
50. Guidance on Continuing Professional Development (CPD) for the Pharmacy Profession Accreditation Council for Pharmacy Education; // Updated January 2015. [accessed on November 2017]; Available online: https://www.acpeaccredit.org/pdf/CPDGuidance%20ProfessionPharmacyJan2015.pdf.
51. World Health Organization (WHO) Framework for action on inter professional education and collaborative practice // Geneva: WHO; 2010.
52. Atkinson J., Rombaut B., The 2011 PHARMINE report on pharmacy and pharmacy education in the European Union // Pharm. Pract. 2011;9: pp. 169–187.
53. International Pharmaceutical Federation. FIP Statement of Policy: Medicines Information for Patients. The Hague: FIP; 2008. Available at:http://www.fip.org/www/uploads/database file.php?id=290&table id.
54. Moore T.J., Furberg C.D., Mattison D.R., Cohen M. R. Completeness of serious adverse drug event reports received by the US Food and Drug Administration in 2014. // Pharmacoepidemiology, Drug Safety. 2016; 25(6): pp. 713–718.
55. Jeri J. Sias and Susana V. James; Spanish for the pharmacy professional (English and French Edition) // American Pharmacists Association; 1st edition (January 30, 2009); pp. 35-79.
56. Robert P. Navarro; Managed Care Pharmacy Practice 2nd Edition // Jones & Bartlett Learning; 2 edition (December 25, 2008); pp. 336-389.
57. World Health Organization; Quality Assurance of Pharmaceuticals 2017: WHO Guidelines, Good Practices, Related Regulatory Guidance and GXPs Training Materials // World Health Organization; 2017 edition (January 11, 2018); pp. 51-59.
58. Mari J. Wirfs PhD MN APRN ANP-BC FNP-BC CNE; The APRN's Complete Guide to Prescribing Drug Therapy Springer Publishing Company; 1 edition (April 25, 2017); pp. 548-613.
59. Consumer Health care Products Association's Clinical/Medical Committee // White paper on the benefits of OTC medicines in the United States. Pharmacy Today 2010; (0ct); pp. 68-79.
60. Patrick M. Malone , Karen L. Kier , John Stanovich Jr. , Meghan J. Malone; Drug Information A Guide for Pharmacists 5/E (Malone, Drug Information); McGraw-Hill Education / Medical; 5 edition (August 11, 2014); pp. 1116-1169.
61. Sarriff A., Gillani W.S., Abdel G., Babiker R. M., Pharmacist perception to importance and self-competence in pharmacy practice // Int J Pharm Stud Res. 2010; 1(2); pp. 1–21.

62. Judith E. Thompson, Lawrence W. Davidow; A Practical Guide to Contemporary Pharmacy Practice 3rd Edition; Lippincott Williams and Wilkins; 3rd edition (January 24, 2009); pp. 456-488.
63. Thomas R. Brown, By Thomas R. Brown - Handbook of Institutional Pharmacy Practice // 4th (fourth) Edition; American Society of Health-System Pharmacists (December 1, 2006); pp. 65-74.
64. Krass I. Ways to boost pharmacy practice research. The Pharmaceutical Journal 2015;(2).
65. ParthasarathiG. A Textbook of Clinical Pharmacy Practice: Essential Concepts and Skills // Universities Press India Private Limited; 2 edition (January 18, 2017); pp. 26-37.
66. Franklin B. D.& van Mil J. W., Defining clinical pharmacy and pharmaceutical care // Pharm World Science 2005;27(3): p. 137-144.
67. N. Sulashvili; Peculiarities of professional and career improvement strategy for pharmacists' republic of Armenia ministry of education and science; Yerevan state medical university; Dissertation; Dissertation for the Scientific Degree of PhD in Pharmaceutical Sciences; On specialty 15.00.01 – Pharmacy; YEREVAN – 2019; Pp 1-175;
68. Shane P. Desselle, David P. Zgarrick, Greg Alston; Pharmacy Management: Essentials for All Practice Settings // Fourth Edition; 2016,pp. 329-347.
69. American Association of Colleges of Pharmacy. (2024). *Academic pharmacy's strategic plan 2024–2027*. American Association of Colleges of Pharmacy.
70. American Society of Health-System Pharmacists. (2023). *ASHP statement on the pharmacist's role in patient care*. American Society of Health-System Pharmacists.
71. Bond, C. M., & Raehl, C. L. (2021). Clinical pharmacy services and healthcare outcomes: An international perspective. *Research in Social and Administrative Pharmacy, 17*(8), 1465–1473.
72. Bukhari, N., Rasheed, H., Nayyer, B., & Babar, Z. U. D. (2021). Pharmacists at the frontline during the COVID-19 pandemic: Roles, responsibilities and lessons learned. *Journal of Pharmaceutical Policy and Practice, 14*(1), 1–9.
73. Cadogan, C. A., & Hughes, C. M. (2021). On the frontline against COVID-19: Community pharmacists' contribution during a public health emergency. *Research in Social and Administrative Pharmacy, 17*(1), 2032–2035.
74. European Association of Faculties of Pharmacy. (2023). *Pharmacy education in Europe: Strategic priorities and future directions*. EAFP.
75. European Directorate for the Quality of Medicines & HealthCare. (2022). *Pharmaceutical care and patient safety in Europe*. Council of Europe.
76. European Medicines Agency. (2023). *Annual report 2023*. European Medicines Agency.
77. Griese-Mammen, N., Hersberger, K. E., Messerli, M., Leikola, S., Horvat, N., & van Mil, J. (2020). Pharmaceutical care practice: International perspectives and future development. *International Journal of Clinical Pharmacy, 42*(5), 1189–1196.
78. Hepler, C. D., & Strand, L. M. (2020). Opportunities and responsibilities in pharmaceutical care: Contemporary perspectives. *American Journal of Health-System Pharmacy, 77*(18), 1478–1484.
79. International Pharmaceutical Federation. (2021). *FIP development goals: Transforming pharmacy globally*. International Pharmaceutical Federation.

80. International Pharmaceutical Federation. (2022). *Global competency framework for pharmacists and pharmaceutical scientists (Version 2)*. International Pharmaceutical Federation.
81. International Pharmaceutical Federation. (2023). *FIP global pharmaceutical workforce report 2023*. International Pharmaceutical Federation.
82. International Pharmaceutical Federation. (2024). *Digital health transformation and the future of pharmacy practice*. International Pharmaceutical Federation.
83. Mak, V. S. L., March, G., Clark, A., Gilbert, A. L., & Stewart, K. (2021). The expanding role of pharmacists in integrated healthcare delivery. *Journal of Pharmacy Practice and Research, 51*(4), 327–334.
84. Organisation for Economic Co-operation and Development. (2023). *Health at a glance 2023: OECD indicators*. OECD Publishing.
85. Pharmaceutical Group of the European Union. (2024). *Community pharmacy in Europe: Annual report 2024*. PGEU.
86. Rosenthal, M., Austin, Z., & Tsuyuki, R. T. (2022). Professional identity formation in pharmacy education and practice. *Currents in Pharmacy Teaching and Learning, 14*(3), 286–293.
87. Scahill, S., Atif, M., & Babar, Z. U. D. (2022). Workforce development and competency-based pharmacy education: Global perspectives. *Pharmacy Education, 22*(1), 320–331.
88. Schindel, T. J., Yuksel, N., Breault, R., Daniels, J., Varnhagen, S., & Hughes, C. A. (2021). Pharmacists' expanding professional roles within interdisciplinary healthcare teams. *Canadian Pharmacists Journal, 154*(5), 287–295.
89. Tsuyuki, R. T., Beahm, N. P., Okada, H., & Al Hamarneh, Y. N. (2021). Pharmacists as healthcare providers: Optimizing medication use and improving patient outcomes. *Canadian Pharmacists Journal, 154*(6), 342–350.
90. United Nations. (2023). *Sustainable Development Goals report 2023*. United Nations.
91. World Health Organization. (2021). *Global patient safety action plan 2021–2030*. World Health Organization.
92. World Health Organization. (2022). *Health workforce: Strategic directions towards 2030*. World Health Organization.
93. World Health Organization. (2023). *World health statistics 2023: Monitoring health for the Sustainable Development Goals*. World Health Organization.
94. World Health Organization. (2024). *Global strategic directions for strengthening pharmacy services in primary health care*. World Health Organization.
95. Zlotos, L., Power, A., Bates, I., McKellar, S., & Murphy, F. (2022). Future pharmacy workforce: Clinical competence, digital transformation, and professional sustainability. *International Journal of Pharmacy Practice, 30*(6), 541–550.
96. International Pharmaceutical Federation. The global pharmaceutical workforce: intelligence report. The Hague: International Pharmaceutical Federation; 2020.
97. World Health Organization. Global strategy on human resources for health: Workforce 2030. Geneva: World Health Organization; 2016.
98. World Health Organization. World health statistics 2024: monitoring health for the SDGs, sustainable development goals. Geneva: World Health Organization; 2024.
99. Llimós F, Faus MJ, Benrimoj SI, Machuca M. Effectiveness of clinical pharmacy services: an overview of systematic reviews (2000-2010). Pharm World Sci. 2015;37(4):1-10.

100. Graabaek T, Kjeldsen LJ. Medication reviews by clinical pharmacists at hospitals lead to improved patient outcomes: a systematic review. Basic Clin Pharmacol Toxicol. 2013;112(6):359-373.
101. Renaudin P, Boyer L, Esteve MA, Bertault-Peres P, Auquier P, Honore S. Do pharmacist-led medication reviews in hospitals help reduce hospital readmissions? A systematic review and meta-analysis. Br J Clin Pharmacol. 2016;82(6):1660-1673.
102. Costello J, Barras M, Foot H, Cottrell N. The impact of hospital-based post-discharge pharmacist medication review on patient clinical outcomes: a systematic review. Explor Res Clin Soc Pharm. 2023;11:100305.
103. Huang Y, et al. Clinical outcomes of community pharmacy services: a systematic review and meta-analysis. Health Soc Care Community. 2019;27(5).
104. Dighriri IM, Alnomci BA, Aljahdali MA, et al. The role of clinical pharmacists in antimicrobial stewardship programs: a systematic review. Cureus. 2023;15(12).
105. Charani E, et al. Evolution of pharmacist roles in antimicrobial stewardship: a 20-year systematic review. Int J Infect Dis. 2024;148:107306.

I. Zarnadze, Sh. Zarnadze, N. Chichoyan, T. Tsintsadze, N. Kvizhinadze; THE FEATURES OF PHARMACISTS' PROFESSIONAL CHALLENGES AND REGULATION CONFERENCE "MODERN PHARMACY – SCIENCE AND PRACTICE"

N. Intskirveli, N. Sulashvili; Study of Factors Affecting on Population's Health Improvement;

ze, I. Zarnadze, N. Chichoyan, Sh. Zarnadze; Scientifically study of prospects of modern scientific achievements and research challenges of pharmacists vocational features in pharmaceutics and medicine; УДК 615.1:339.188 ISSN 2415-8593 MATERIALS OF IX INTERNATIONAL SCIENTIFIC-PRACTICAL CONFERENCE- "MANAGEMENT AND MARKETING IN THE MODERN ECONOMY, SCIENCE, EDUCATION AND PRACTICE". MINISTRY OF HEALTH OF UKRAINE; MINISTRY OF EDUCATION AND

/
/
.

THE SCHOLARLY DISQUISITION ON FUNDAMENTAL DIMENSIONS OF TRANSFORMING CONTEMPORARY MEDICAL EDUCATION: A GLOBAL EVIDENCE-SYNTHESIZED EXAMINATION OF PEDAGOGICAL INNOVATION, INTERPROFESSIONAL LEARNING, TECHNOLOGICAL INTEGRATION, OUTCOME-ORIENTED CURRICULAR ARCHITECTURES AND CLINICAL PROFESSIONAL COMPETENCE DEVELOPMENT

Nodar Sulashvili
Nato Alavidze
Ia Egnatievi
Manana Giorgobiani
Mzia Tsiklauri
Marika Sulashvili
Igor Seniuk
Ketevani Gabunia
Tamar Okropiridze
David Aphkhazava

11. MD, PhD, Doctor of Theoretical Medicine In Pharmaceutical and Pharmacological Sciences, Affiliated 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; Professor of Medical Pharmacology and Clinical Pharmacology of International School of Medicine at Alte University; Professor of Medical Pharmacology of Faculty of Medicine at Sulkhan-Saba Orbeliani University, Associate Professor of Pharmacy Program at Shota Meskhia Zugdidi State University; Associate Professor of Medical Pharmacology at School of Medicine at David Aghmashenebeli University of Georgia; Associate Professor of Biochemistry and Pharmacology Direction at the University of Georgia, School of Health Sciences; Associate Professor of Pharmacology of Faculty of Medicine at East European University, Associate Professor of Pharmacology of Faculty of Dentistry and Pharmacy at Tbilisi Humanitarian Teaching University; Invited Lecturer (Professor) of Scientific Research-Skills Center at Tbilisi State Medical University, Tbilisi, Georgia; Former Scientific Researcher and Clinical Pharmacologist of London Lewisham University Hospital, London, England, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland; Orcid https://orcid.org/0000-0002-9005-8577;
12. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor of Akaki Tsereteli State University, Faculty of Medicine, Department of Stomatology and Pharmacy, Kutaisi, Georgia. Professor, Dean Faculty of Medicine at East European University, Tbilisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0001-6695-5924
13. **MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor of** David Aghmashenebeli University of Georgia, Dean Faculty of Medicine at David Aghmashenebeli University of Georgia. Tbilisi, Georgia.
14. **MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor of** David Aghmashenebeli University of Georgia, Head of The Medical Education Study Program; Tbilisi, Georgia.
15. PhD, Affiliated Professor of the Medical Programs of Gr.Robakidze University, Microbiology, Immunology, Virology, Infection Control. Invited Professor of the Medical Programs of Alte University, Tbilisi, Georgia. Invited Professor of the Medical Programs of

Caucasus International University, Laboratory Medicine, Tbilisi, Georgia. Member of the Georgian Immunologists Association, Member of the Accreditation Council of the Quality Development, Center of the Ministry of Education of Georgia, Tbilisi, Georgia.
16. MD, Doctor of Family Medicine, Invited Professor of Biochemistry at The University of Georgia; Invited Lecturer (Invited Professor) of Tbilisi State Medical University, Lecturer of Department of Molecular and Medical Genetics, Tbilisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0002-6338-4262
17. PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Dean of faculty of Pharmacy at National University of Pharmacy of Ukraine, Associate Professor of Biological Chemistry Department at National University of Pharmacy, Kharkiv, Ukraine. https://orcid.org/0000-0003-3819-7331
18. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor of Akaki Tsereteli State University, Faculty of Medicine, Department of Stomatology and Pharmacy, Kutaisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0002-5857-6593;
19. MD, PhD, Doctor Medical Sciences, Professor of the Division of Dentistry of International School of Medicine at Alte University; Invited Professor of Dentistry of Department of The School of Health Sciences at The University of Georgia; Tbilisi, Georgia.
20. PhD, Doctor of Biological Sciences, Professor of Biochemistry at Alte University, Professor of Biochemistry at University of Georgia, Professor of Biochemistry at Georgian National University SEU, Invited Lecturer (Professor) of Biophysics and Microbiology, Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia. Orcid: https://orcid.org/0000-0001-6216-6477

ABSTRACT
Contemporary medical education is undergoing profound pedagogical, curricular, technological, and competency-oriented transformation in response to the increasing complexity of healthcare systems, rapid biomedical knowledge expansion, evolving professional roles, and growing expectations for safe, evidence-informed, patient-centred clinical practice. This scholarly disquisition examines the fundamental dimensions of transforming contemporary medical education through a global evidence-synthesized perspective, emphasizing pedagogical innovation, interprofessional learning, technological integration, outcome-oriented curricular architectures, and clinical professional competence development. The analysis conceptualizes medical education as a dynamically interconnected educational ecosystem in which foundational biomedical sciences, clinical reasoning, practical skills, professional identity formation, communication, teamwork, ethical decision-making, digital literacy, and lifelong learning must be progressively integrated rather than addressed as isolated curricular components. Contemporary evidence indicates increasing movement from predominantly teacher-centred instructional models toward active, learner-centred, competency-oriented approaches incorporating problem-based learning, team-based learning, case-based learning, simulation, workplace-based learning, reflective practice, peer-assisted learning, structured feedback, and authentic assessment. Systematic evidence further indicates that interprofessional educational strategies can strengthen knowledge, collaborative competencies, communication, and professional attitudes, while interdisciplinary simulation provides structured opportunities for experiential learning and team-based clinical decision-making. Technological integration represents another major dimension of educational transformation, encompassing learning-management systems, virtual and augmented learning environments, simulation technologies, digital assessment and electronic portfolios, learning analytics, artificial intelligence, adaptive learning platforms, and digitally mediated clinical

education. These innovations may expand accessibility, personalization, feedback, and opportunities for repeated practice, although their educational effectiveness remains dependent upon pedagogical design, faculty preparedness, technological infrastructure, digital literacy, and appropriate evaluation frameworks. Competency-based medical education increasingly emphasizes demonstrable outcomes and longitudinal progression across knowledge, clinical skills, professional behaviours, communication, collaboration, and patient-centred practice. Contemporary systematic reviews nevertheless identify substantial variability in competency assessment frameworks, evaluation methodologies, reporting standards, and implementation strategies, highlighting the need for more transparent and valid approaches to educational measurement. The synthesis further identifies outcome-oriented curricular architecture as a mechanism for connecting educational objectives, learning activities, assessment strategies, clinical experiences, and graduate competencies within coherent developmental trajectories. Effective transformation requires alignment among institutional missions, curricular governance, faculty development, educational technologies, assessment systems, accreditation expectations, and healthcare-system priorities. Particular emphasis should be placed on longitudinal competency development, formative assessment, feedback literacy, reflective learning, interprofessional collaboration, clinical reasoning, patient safety, and evidence-based decision-making. The evidence also demonstrates that educational innovations should be interpreted within their institutional, cultural, socioeconomic, and professional contexts rather than universally generalized. Consequently, the future of medical education depends not merely on adopting innovative technologies or instructional techniques, but on constructing integrated, evidence-informed, learner-centred, professionally authentic, and continuously evaluated educational ecosystems capable of preparing healthcare professionals for increasingly complex clinical environments.

Keywords: Competency-Based Medical Education; Pedagogical Innovation; Interprofessional Learning; Educational Technology; Clinical Competence.

INTRODUCTION

Contemporary medical education is experiencing a profound and multidimensional transformation driven by unprecedented developments in biomedical science, clinical medicine, health technologies, population health, educational science, informatics, and healthcare-system organization. The traditional conception of medical education as a predominantly knowledge-transmission process is increasingly being reconsidered in favour of an integrated educational paradigm emphasizing competency development, clinical reasoning, professional identity formation, interprofessional collaboration, evidence-informed decision-making, patient-centredness, digital literacy, reflective practice, and lifelong professional learning. This transformation reflects the recognition that contemporary healthcare professionals must not merely acquire a large body of biomedical and clinical information but must demonstrate the capacity to mobilize knowledge, technical skills, communication competencies, ethical reasoning, teamwork, and professional judgement within complex and rapidly changing clinical environments. The contemporary educational challenge therefore concerns not simply the expansion of curricular content but the systematic reconfiguration of how future physicians and other healthcare professionals learn, practise, demonstrate, assess, and continuously develop professional competence.

The global health environment provides an important contextual foundation for this transformation. Health systems increasingly confront demographic ageing, epidemiological transition, multimorbidity, chronic disease, emerging and re-emerging infectious diseases,

population mobility, health inequities, technological disruption, workforce shortages, rising healthcare expenditures, and increasingly complex expectations concerning quality and safety. The World Health Organization identifies strengthening health-professional education and training as an important component of health-system development and emphasizes the need for health workers whose competencies correspond to current and future population needs. WHO also recognizes persistent mismatches between health-workforce supply, population needs, and demand, reinforcing the importance of educational systems capable of producing appropriately prepared professionals. These circumstances require medical universities and other health-professional institutions to reconsider the architecture, content, delivery, assessment, and governance of educational programmes.

The concept of competency-based medical education (CBME) has consequently become increasingly prominent within contemporary educational discourse. Competency-based education shifts attention from the amount of instructional exposure or time spent within a curriculum toward the competencies that learners are expected to demonstrate at defined stages of professional development. Competence encompasses interconnected domains rather than isolated factual knowledge. These domains may include medical knowledge, clinical skills, diagnostic reasoning, therapeutic decision-making, communication, collaboration, professionalism, ethical practice, patient safety, systems-based practice, scholarship, leadership, and continuous improvement. Such an orientation requires curricular structures in which educational objectives, teaching and learning activities, clinical experiences, assessment instruments, feedback processes, and graduation outcomes are systematically aligned.

The emergence of competency-oriented educational architecture represents a conceptual movement from input-based toward outcome-oriented medical education. In input-dominant models, curriculum organization may be strongly influenced by teaching hours, disciplinary boundaries, content volume, faculty availability, and predetermined sequences of courses. By contrast, outcome-oriented curricular design begins with explicit statements concerning what graduates should know, what they should be capable of performing, how they should communicate and collaborate, how they should behave professionally, and how they should apply evidence in clinical practice. This transition necessitates constructive alignment between intended learning outcomes, instructional methodology, assessment, and authentic clinical performance. Curriculum coherence therefore becomes a central educational principle.

The transformation of medical education must also be understood within the context of rapid biomedical knowledge expansion. Modern medicine is characterized by continuous developments in molecular biology, genetics, pharmacology, immunology, microbiology, neuroscience, oncology, regenerative medicine, precision medicine, medical imaging, minimally invasive interventions, digital therapeutics, clinical informatics, and artificial intelligence. The accelerating production of scientific information creates a fundamental pedagogical dilemma: the curriculum cannot indefinitely expand in parallel with the total volume of available biomedical knowledge. Consequently, medical education must increasingly prioritize conceptual understanding, knowledge organization, critical appraisal, information retrieval, evidence synthesis, clinical reasoning, and the ability to update knowledge throughout professional life. The objective is not simply to memorize an expanding catalogue of facts but to develop professionals capable of identifying relevant information, evaluating its validity, integrating it with patient-specific circumstances, and translating evidence into appropriate clinical decisions.

This epistemological transformation strengthens the relationship between medical education and evidence-based medicine. Future healthcare professionals must be prepared to formulate

answerable clinical questions, identify appropriate evidence, critically evaluate research findings, interpret measures of diagnostic and therapeutic effectiveness, understand uncertainty, recognize methodological limitations, and incorporate patient preferences and clinical circumstances into decision-making. Evidence-based medicine therefore represents not only a clinical methodology but also an educational competency. Medical curricula must create longitudinal opportunities for learners to develop scientific literacy, research literacy, statistical reasoning, critical appraisal, and evidence translation. These competencies are particularly important in environments characterized by rapidly changing clinical guidelines, emerging therapies, conflicting findings, and increasing volumes of digitally accessible health information.

Parallel to the expansion of scientific knowledge, medical education is being influenced by the increasing complexity of patients and clinical systems. Contemporary patients frequently present with multiple chronic diseases, polypharmacy, psychosocial challenges, multimorbidity, functional limitations, and complex social determinants of health. Clinical decisions may consequently involve multiple professional groups, diagnostic technologies, therapeutic modalities, ethical considerations, and organizational processes. A physician's competence can therefore no longer be conceptualized exclusively as individual diagnostic or procedural proficiency. Clinical competence increasingly incorporates the ability to function effectively within multidisciplinary teams, coordinate care, communicate across professional boundaries, recognize system-level risks, and contribute to continuity and quality of care.

Interprofessional education (IPE) has consequently emerged as a significant dimension of contemporary medical education. Interprofessional learning provides students from different health professions with structured opportunities to learn with, from, and about one another. Such educational experiences can address communication, role clarification, collaborative decision-making, conflict management, leadership, shared responsibility, and patient-centred care. The educational rationale is closely connected with the organization of modern healthcare, where physicians, pharmacists, nurses, physiotherapists, laboratory professionals, public-health specialists, psychologists, nutrition professionals, social workers, and other practitioners frequently contribute to integrated care. Educational separation between professional groups may therefore be increasingly incongruent with the collaborative realities of clinical practice.

The development of interprofessional competence also has implications for patient safety. Communication failures, unclear professional responsibilities, fragmented information exchange, and inadequate coordination may contribute to preventable adverse events. Medical education can address these risks by integrating interprofessional communication and teamwork competencies into authentic educational activities. Team-based simulations, interprofessional case conferences, collaborative clinical reasoning exercises, and shared problem-solving activities can provide structured environments in which learners practise professional interaction before assuming full responsibility for patient care. The educational objective is not merely to increase awareness of other professions but to develop observable collaborative behaviours capable of supporting coordinated clinical practice.

Pedagogical innovation constitutes another central component of contemporary educational transformation. Conventional lecture-based teaching remains useful for certain educational purposes, particularly when efficiently introducing conceptual frameworks, organizing complex knowledge, or providing expert synthesis. However, exclusive dependence on didactic instruction may provide insufficient opportunities for active knowledge construction, clinical reasoning, psychomotor development, communication, and professional behaviour. Contemporary medical education therefore increasingly incorporates problem-based learning,

case-based learning, team-based learning, inquiry-based learning, simulation-based education, peer learning, experiential learning, workplace-based learning, reflective practice, and structured feedback.

Problem-based learning has particular relevance because it places clinical or professional problems at the centre of the learning process. Rather than receiving all information before encountering a problem, students identify knowledge gaps, formulate hypotheses, search for evidence, discuss alternatives, and integrate information within a structured collaborative environment. Case-based learning similarly connects theoretical knowledge with clinical scenarios, allowing students to analyse symptoms, laboratory findings, imaging results, pharmacotherapeutic options, ethical dimensions, and patient-specific considerations. Team-based learning adds structured accountability and collaborative reasoning to the educational process. These approaches collectively contribute to an active-learning paradigm in which students assume greater responsibility for knowledge acquisition and application.

Simulation-based medical education has become especially important for clinical competency development. Simulation permits learners to practise clinical procedures, communication, emergency management, diagnostic reasoning, prescribing, teamwork, and decision-making in controlled environments. Depending on educational objectives and available resources, simulation may involve task trainers, standardized patients, virtual patients, high-fidelity manikins, immersive digital environments, screen-based simulation, or hybrid approaches. One of its central educational advantages is the possibility of repeated practice without exposing real patients to unnecessary risk during initial skill acquisition. Simulation can also facilitate structured debriefing, enabling learners to analyse their actions, identify reasoning processes, recognize errors, and develop strategies for improvement.

The educational significance of simulation extends beyond technical proficiency. Modern simulation increasingly incorporates non-technical skills, including situational awareness, communication, leadership, teamwork, prioritization, cognitive flexibility, and crisis-resource management. These competencies are difficult to develop exclusively through conventional lectures or written examinations because they depend on performance within dynamic situations. Authentic simulation can therefore contribute to the integration of cognitive, psychomotor, affective, and interpersonal dimensions of professional competence.

Workplace-based learning represents another essential component of competency development. Clinical competence ultimately requires performance in authentic professional environments where patient characteristics, diagnostic uncertainty, workload, communication requirements, organizational constraints, and ethical considerations interact. Clinical rotations, clerkships, supervised practice, bedside teaching, ambulatory encounters, hospital-based learning, community placements, and longitudinal integrated clinical experiences provide opportunities for learners to translate theoretical knowledge into practice. However, clinical exposure alone does not guarantee competency development. Educational value depends on supervision quality, learning opportunities, feedback, psychological safety, learner participation, clinical case diversity, and systematic assessment.

The role of feedback within medical education is therefore fundamental. Formative feedback can help learners identify discrepancies between current performance and desired standards, understand the causes of performance gaps, and formulate specific improvement strategies. Contemporary approaches increasingly conceptualize feedback as a dialogical and developmental process rather than a one-directional transmission of evaluative comments. Effective feedback should be timely, specific, evidence-based, behaviour-focused, actionable, and connected to explicit competency standards. Feedback literacy should also be cultivated so

that learners can actively interpret, question, and utilize feedback in subsequent performance.

Assessment represents a particularly important mechanism through which curricular priorities become operationalized. The principle that "assessment drives learning" means that students are likely to allocate considerable effort toward competencies that are formally assessed. If curricula emphasize clinical reasoning but assessment relies predominantly on factual recall, learners may rationally prioritize memorization rather than reasoning. Conversely, if programmes assess clinical performance, communication, prescribing, procedural skills, teamwork, evidence appraisal, and professionalism through authentic methods, learners receive stronger signals that these competencies are educationally consequential. Contemporary assessment architecture therefore requires multimodal strategies integrating written examinations, objective structured clinical examinations, workplace-based assessments, direct observation, portfolios, case analyses, reflective activities, simulation performance, oral examinations, and longitudinal competency reviews.

The objective structured clinical examination (OSCE) illustrates the movement toward performance-based assessment. By using standardized stations and defined assessment criteria, OSCEs can evaluate multiple dimensions of clinical competence, including history-taking, physical examination, communication, interpretation of investigations, counselling, clinical reasoning, procedural skills, and patient safety. Nevertheless, OSCEs also have limitations, including resource intensity, station-specific sampling, potential artificiality, and dependence on assessment design. Accordingly, contemporary assessment systems increasingly advocate combinations of methods rather than reliance on a single instrument.

The concept of programmatic assessment further contributes to this transformation by treating individual assessment encounters as components of a broader longitudinal system. Multiple low- and high-stakes assessments can be aggregated to produce richer representations of learner development. Such systems can incorporate quantitative scores, narrative observations, workplace performance, portfolios, examination results, and longitudinal feedback. The underlying objective is to improve decision validity by recognizing that complex professional competence cannot be adequately represented by one examination or one numerical score.

Curricular integration is consequently becoming increasingly important. Traditional disciplinary structures can generate fragmentation when anatomy, physiology, biochemistry, pharmacology, pathology, microbiology, clinical medicine, public health, and behavioural sciences are taught as isolated domains with limited conceptual integration. Contemporary curricular models increasingly seek vertical integration, horizontal integration, spiral curriculum design, organ-system organization, clinical-context organization, and thematic integration. Vertical integration links foundational scientific knowledge with subsequent clinical application, whereas horizontal integration connects disciplines operating at comparable educational levels. Spiral structures revisit major concepts at progressively greater levels of complexity, allowing learners to consolidate and extend knowledge over time.

The integration of basic and clinical sciences is particularly important for clinical reasoning. Biomedical mechanisms provide the explanatory framework through which symptoms, signs, laboratory abnormalities, therapeutic responses, and adverse effects can be interpreted. Pharmacology, for example, cannot be optimally learned as an isolated catalogue of drugs when the ultimate objective is safe and rational pharmacotherapy. Students must understand pharmacodynamics, pharmacokinetics, therapeutic indications, contraindications, adverse drug reactions, drug interactions, patient-specific factors, and principles of evidence-based prescribing within authentic clinical contexts. Similar integration is relevant to pathology, microbiology, physiology, anatomy, biochemistry, genetics, and other foundational disciplines.

Technology represents an increasingly influential dimension of this curricular transformation. Digital learning environments, electronic resources, virtual patients, learning-management systems, online assessment, tele-education, immersive simulation, virtual reality, augmented reality, mobile learning, adaptive platforms, learning analytics, and artificial intelligence are altering educational possibilities. WHO identifies digital education as a potential mechanism for strengthening health-workforce capacity, particularly when appropriately designed and implemented, and emphasizes that digital-health competencies should be incorporated into health-professional education and training.

However, technological integration should not be equated automatically with educational innovation. Technology is an instrument rather than an educational objective. Its value depends upon pedagogical alignment, usability, accessibility, infrastructure, faculty competence, learner characteristics, assessment strategy, and the intended learning outcome. Evidence concerning digital health-workforce education indicates that effectiveness varies according to training objectives, technological modality, educational context, teaching and assessment methods, learner populations, and professional specialty. Therefore, the appropriate question is not whether a particular technology is “modern,” but whether its implementation produces meaningful educational value relative to the learning objective, resources, and clinical context.

Artificial intelligence introduces additional opportunities and challenges. Generative AI, machine learning, automated feedback, intelligent tutoring systems, predictive learning analytics, natural-language processing, and adaptive educational platforms may support individualized learning and information processing. At the same time, medical education must address algorithmic bias, misinformation, data privacy, intellectual-property concerns, transparency, academic integrity, automation bias, overreliance on generated content, and the need for human oversight. Students therefore require not only technical familiarity with AI-enabled systems but also AI literacy, critical evaluation skills, ethical reasoning, and an understanding of the limitations of algorithmic outputs.

Digital transformation also changes the definition of professional competence. Contemporary healthcare professionals increasingly interact with electronic health records, computerized decision-support systems, telemedicine platforms, digital diagnostic tools, clinical databases, electronic prescribing, remote monitoring, and data-intensive research environments. Digital competence consequently becomes a component of clinical professionalism. WHO' current digital-health strategy emphasizes the integration of organizational, human, financial, and technological resources and identifies the development of digitally capable health workforces as an important component of digital-health transformation.

Nevertheless, technological transformation can intensify educational inequities. Differences in institutional infrastructure, broadband access, hardware availability, software licensing, digital literacy, faculty development, and national resources may produce substantial disparities in educational opportunities. Digital education should therefore be implemented within principles of accessibility, inclusion, interoperability, data protection, and sustainability. Technological sophistication should not become a substitute for educational quality or an additional source of exclusion.

The transformation of medical education must also address professionalism and professional identity formation. Medicine is not solely a technical occupation; it incorporates ethical responsibility, accountability and respect for patients, confidentiality, integrity, compassion, cultural responsiveness, scientific curiosity, and commitment to continuous improvement. Professional identity develops through interactions among formal curriculum, informal curriculum, hidden curriculum, role modelling, clinical experiences, institutional culture, peer

relationships, and assessment practices. Educational reform that focuses exclusively on measurable technical competencies without addressing professional identity may produce fragmented learning outcomes.

Patient-centredness is similarly central to contemporary competency frameworks. Healthcare professionals must increasingly recognize patients as active participants in decisions concerning their health. Communication competencies therefore include eliciting patient perspectives, explaining risks and benefits, assessing health literacy, supporting shared decision-making, respecting preferences, communicating uncertainty, and adapting communication to cultural and social contexts. Patient-centred education should consequently extend beyond communication-skills workshops and become embedded across clinical curricula.

Health equity and social accountability provide another dimension of curricular transformation. Health outcomes are influenced by socioeconomic conditions, education, environment, geography, culture, health-system access, discrimination, and other social determinants. Medical curricula must therefore prepare graduates to recognize disparities, understand population-level determinants of health, communicate across diverse populations, and contribute to equitable healthcare delivery. WHO's health-workforce agenda emphasizes aligning health-professional education with population and health-system needs, reinforcing the social accountability of educational institutions.

Research capacity is also an essential element of contemporary medical education. Healthcare professionals should be capable of interpreting scientific literature, understanding research methodology, recognizing bias, applying statistical concepts, participating in quality improvement, and contributing to knowledge generation. Research-integrated curricula can connect scientific inquiry with clinical practice by allowing students to formulate research questions, analyse datasets, critically appraise literature, participate in laboratory or clinical projects, and communicate findings. Such integration reinforces the relationship between education, evidence generation, evidence synthesis, and evidence implementation.

Faculty development is indispensable to sustainable educational transformation. Curriculum reform cannot succeed if faculty members are expected to implement new pedagogies without appropriate preparation. Educators increasingly require competencies in instructional design, digital education, assessment methodology, feedback, simulation facilitation, interprofessional education, learning analytics, educational scholarship, and curriculum evaluation. Faculty development should therefore be conceived as a longitudinal institutional process rather than an isolated workshop. Academic staff need protected time, educational resources, peer support, recognition, and opportunities to evaluate and disseminate educational innovation.

Institutional culture strongly influences whether educational reforms become sustainable. Medical schools may formally adopt competency-based curricula while retaining traditional assessment, departmental silos, faculty incentives, and organizational practices. Such misalignment can create a discrepancy between the declared curriculum and the enacted curriculum. Meaningful transformation therefore requires governance mechanisms capable of aligning institutional strategy, curriculum committees, faculty development, student support, assessment systems, accreditation requirements, clinical partnerships, information technology, and quality assurance.

Accreditation and quality assurance also influence contemporary educational architecture. Medical schools must demonstrate that graduates achieve defined competencies and that educational processes support patient safety and professional standards. Quality assurance should therefore encompass curriculum mapping, assessment validity, faculty qualifications,

clinical-learning environments, student progression, graduate outcomes, stakeholder feedback, and continuous programme improvement. External standards can provide useful frameworks, but effective quality assurance must also remain responsive to local healthcare needs, institutional missions, cultural contexts, and resource conditions.

Globalization has further complicated the landscape of medical education. Students, educators, research collaborations, curricula, educational technologies, and professional qualifications increasingly cross national boundaries. Internationalization can facilitate knowledge exchange, comparative educational research, collaborative teaching, and global health learning. However, educational models developed in one setting cannot necessarily be transferred without adaptation. Differences in healthcare systems, disease epidemiology and professional scopes of practice, regulatory environments, cultural norms, educational resources, and socioeconomic conditions must be considered. Contemporary medical education should therefore balance international standards with contextual responsiveness.

The COVID-19 pandemic accelerated digital transformation and exposed both the potential and limitations of technology-mediated education. Institutions rapidly adopted online lectures, virtual classrooms, digital resources, remote assessment, tele-education, and virtual clinical-learning strategies. These developments demonstrated that educational continuity can be supported through digital infrastructures but also highlighted limitations involving clinical skills, hands-on procedures, interpersonal learning, assessment integrity, digital inequality, learner wellbeing, and clinical-placement disruption. The post-pandemic educational environment therefore provides an opportunity to integrate effective digital practices with rather than replace authentic clinical and interpersonal learning.

Lifelong learning has become increasingly indispensable because the half-life of professional knowledge continues to shorten while clinical technologies and therapeutic options expand. Medical education should therefore not terminate at graduation. Undergraduate and postgraduate education should establish habits of continuous evidence appraisal, reflective practice, professional updating, and self-directed learning. WHO' contemporary educational strategy similarly emphasizes lifelong learning and the need for health workers to remain current with rapidly evolving scientific and technological knowledge.

The relationship between undergraduate, postgraduate, and continuing professional development therefore requires greater integration. Foundational medical education should establish core competencies that can be progressively developed during residency, specialty training, and continuing professional education. Longitudinal competency frameworks can provide continuity across these stages by defining developmental expectations while permitting specialization. Such approaches can reduce discontinuities between university-based learning and workplace-based professional development.

Contemporary medical education must additionally recognize the importance of learner agency. Students are increasingly expected to become active participants in their education rather than passive recipients of curricular content. Self-directed learning, reflective practice, metacognition, learning analytics, personalized educational pathways, peer collaboration, and individualized feedback can support learner autonomy. Nevertheless, learner-centredness does not imply abandonment of structured guidance. Effective curricula provide appropriate scaffolding, explicit expectations, expert supervision, progressive responsibility, and opportunities for independent practice.

Psychological safety is another important component of the learning environment. Learners must be able to ask questions, disclose uncertainty, acknowledge errors, and seek assistance without inappropriate humiliation or retaliation. This is particularly relevant in clinical

education, where uncertainty and error can have educational significance but may also create patient-safety risks. Institutions therefore need educational cultures in which learners are encouraged to identify limitations, escalate concerns, and engage in reflective improvement while maintaining appropriate professional accountability.

The concept of clinical competence itself requires multidimensional interpretation. Competence involves not simply possessing knowledge or performing isolated technical skills but integrating knowledge, skills, attitudes, values, communication, reasoning, and professional behaviours in context. A clinically competent practitioner must recognize relevant information, prioritize problems, formulate differential diagnoses, interpret evidence, select appropriate interventions, anticipate risks, communicate decisions, monitor outcomes, and modify management when circumstances change. Educational programmes must consequently create opportunities for integrated performance rather than merely fragmented competency acquisition.

This complexity creates methodological challenges for educational research. Educational interventions are often influenced by contextual variables that make direct comparison difficult. Outcomes may be measured at different levels, including learner satisfaction, knowledge acquisition, skill performance, behavioural change, examination performance, clinical performance, patient outcomes, or organizational indicators. Short-term educational gains do not necessarily translate into sustained professional competence or improved patient outcomes. Consequently, contemporary medical-education research requires rigorous study design, transparent reporting, valid assessment instruments, longitudinal evaluation, appropriate statistical methods, and contextual interpretation.

There is also a continuing need to strengthen the evidence base supporting pedagogical innovation. Educational interventions should not be adopted solely because they appear novel or technologically sophisticated. Institutions require evidence concerning effectiveness, feasibility, cost, scalability, acceptability, equity, sustainability, and transferability. Comparative studies, systematic reviews, implementation research, mixed-methods investigations, and longitudinal studies can contribute to a more robust evidence base. Educational scholarship should therefore progress beyond innovation description toward systematic evaluation of mechanisms and outcomes.

The increasing importance of implementation science is particularly relevant. An educational innovation that demonstrates efficacy under controlled circumstances may encounter substantial barriers during institutional implementation. These barriers may involve faculty workload, curriculum density, infrastructure, financing, organizational resistance, student preparedness, assessment alignment, accreditation requirements, or clinical-placement availability. Implementation frameworks can help educational institutions identify contextual determinants, select appropriate implementation strategies, monitor fidelity, and evaluate sustainability.

The architecture of future medical education will consequently require integration across several domains: biomedical knowledge, clinical reasoning, technical and procedural proficiency, communication, interprofessional collaboration, professionalism, digital literacy, research literacy, patient safety, evidence-based practice, health equity, and lifelong learning. These domains should not be treated as independent curricular additions. Their educational value increases when they are deliberately interconnected through coherent learning trajectories and authentic clinical contexts.

Within this broader transformation, outcome-oriented curricular architecture provides a mechanism for linking educational philosophy to observable graduate capabilities. Explicit

learning outcomes can guide curriculum mapping, instructional design, assessment selection, faculty development, student advising, and programme evaluation. Competency frameworks can provide common language for educators and learners while supporting longitudinal monitoring of professional development. However, frameworks must remain sufficiently flexible to accommodate disciplinary differences, national regulations, institutional missions, and evolving healthcare needs.

The contemporary medical school should therefore increasingly be conceptualized as a learning ecosystem rather than simply a collection of academic departments. Within such an ecosystem, students, educators, clinical supervisors, researchers, healthcare organizations, patients, professional bodies, technology specialists, policymakers, and communities contribute to educational processes. Universities provide scientific foundations, while clinical environments provide authentic practice. Digital platforms facilitate information exchange and personalized learning. Research contributes evidence and innovation. Assessment systems generate feedback on competence. Governance structures coordinate these components. The resulting educational system is dynamic, interconnected, and continuously responsive to changes in medicine and society.

This perspective also reinforces the importance of interdisciplinary research into medical education. Educational transformation cannot be adequately studied through medical pedagogy alone. It requires contributions from educational psychology, cognitive science, health services research, clinical disciplines, pharmacology, nursing, public health, epidemiology, biostatistics, informatics, sociology, ethics, organizational science, and implementation science. Interdisciplinary research can clarify how learning occurs, how competencies develop, how educational interventions operate within institutions, and how educational outcomes relate to healthcare outcomes.

The transformation of contemporary medical education is thus not a single pedagogical reform but a systemic reconfiguration involving epistemology, curriculum, pedagogy, assessment, technology, professional identity, institutional governance, and healthcare integration. The fundamental question is increasingly how educational systems can prepare professionals who are simultaneously scientifically rigorous, clinically capable, technologically literate, ethically grounded, collaborative, reflective, adaptable, and committed to lifelong learning.

Against this background, the present scholarly disquisition examines the fundamental dimensions of transforming contemporary medical education through a global evidence-synthesized framework. Particular attention is directed toward pedagogical innovation, interprofessional learning, technological integration, outcome-oriented curricular architectures, and clinical professional competence development. The analysis considers the relationship between educational theory and clinical practice, the integration of basic and clinical sciences, competency-based curriculum design, authentic assessment, simulation, digital transformation, artificial intelligence, interprofessional education, faculty development, learner-centredness, patient-centredness, research literacy, health equity, and lifelong professional development.

The significance of this examination lies in the need to understand contemporary medical education as an integrated system rather than as a collection of isolated innovations. The educational technologies, pedagogical strategies, competency frameworks, and assessment methods emerging across global medical education should be interpreted according to their educational purpose, contextual appropriateness, evidentiary foundation, and capacity to contribute to meaningful professional development. WHO current strategic documents emphasize that health-workforce education must respond to evolving population needs while supporting quality, accessibility, sustainability, and continuous professional development.

Accordingly, the transformation of medical education should be understood as a continuous process of curricular adaptation and institutional learning. It requires educational systems to move beyond content accumulation toward meaningful competency development; beyond disciplinary isolation toward interdisciplinary and interprofessional integration; beyond passive information reception toward active and experiential learning; beyond episodic assessment toward longitudinal evidence of development; beyond technological adoption toward pedagogically justified digital transformation; and beyond graduation-oriented education toward lifelong professional learning.

The contemporary medical education must establish a coherent relationship between what healthcare professionals learn, how they learn it, how their competence is demonstrated, and how that competence is translated into safe, effective, equitable, evidence-informed, and patient-centred healthcare. The transformation of educational systems therefore represents not merely an academic concern but a fundamental component of health-system quality and workforce preparedness. The continuing evolution of medical science, digital technology, healthcare delivery, and societal expectations makes educational adaptability an enduring requirement. A modern medical curriculum must consequently be sufficiently rigorous to preserve scientific standards, sufficiently integrated to support clinical reasoning, sufficiently authentic to develop professional performance, sufficiently flexible to accommodate technological and scientific change, and sufficiently reflective to sustain lifelong improvement.

The transformation of medical education has accelerated in response to the increasing complexity of healthcare systems, rapid technological advancements, and the growing demand for highly competent and adaptable healthcare professionals. Traditional lecture-based approaches are progressively being supplemented or replaced by innovative, student-centered teaching and learning methodologies that emphasize active engagement, critical thinking, and the development of clinical competencies. Contemporary educational strategies such as problem-based learning, case-based learning, simulation-based education, and flipped classroom models are increasingly integrated into medical curricula. In parallel, the incorporation of digital technologies, including virtual reality, artificial intelligence, and online learning platforms, has expanded opportunities for flexible, interactive, and immersive learning experiences. This study systematically evaluates modern teaching and learning methods in higher medical education from a global perspective, focusing on their effectiveness, implementation patterns, and associated challenges. A systematic literature review methodology was employed to analyze recent peer-reviewed academic sources, enabling the identification of key pedagogical innovations and emerging trends. Particular attention was given to competency-based education frameworks and workplace-based assessment tools such as Mini Clinical Evaluation Exercise (Mini-CEX), Direct Observation of Procedural Skills (DOPS), and Entrustable Professional Activities (EPAs), which are widely used to assess real-world clinical performance and professional readiness. The findings reveal a clear global shift toward learner-centered and competency-driven education models. Innovative teaching approaches significantly enhance clinical reasoning, practical skill development, and long-term knowledge retention. Technology-enhanced learning further improves accessibility, engagement, and personalization of the educational process. Additionally, collaborative and peer-assisted learning strategies contribute to the development of essential professional competencies, including communication, teamwork, and decision-making skills. However, the implementation of these modern methodologies is uneven across regions, influenced by disparities in institutional resources, technological infrastructure, and faculty training. The modern pedagogical approaches play a crucial role in aligning medical education with

contemporary healthcare demands. While these innovations offer substantial benefits, their effective and equitable integration requires strategic curriculum design, continuous faculty development, and strengthened global collaboration to ensure sustainable advancement in medical education.

The rapid evolution of healthcare systems, coupled with technological advancement and increasing complexity in clinical practice, has necessitated substantial transformation in medical education. Traditional didactic teaching approaches are progressively being supplemented or replaced by innovative, student-centered methodologies that emphasize active learning, critical thinking, and competency development. Contemporary medical education integrates diverse pedagogical strategies, including problem-based learning, case-based learning, simulation-based training, flipped classrooms, and workplace-based assessments, alongside emerging technologies such as virtual reality, artificial intelligence, and digital learning platforms. These developments aim to produce healthcare professionals who are adaptable, reflective, and capable of delivering high-quality, patient-centered care in dynamic clinical environments.

Medical education has undergone profound transformation over the past decades, driven by the dynamic evolution of healthcare systems, rapid scientific advancements, and the increasing complexity of patient care. Traditionally, medical education relied heavily on didactic, lecture-based teaching methods that emphasized the passive transfer of knowledge from educator to student. While such approaches have historically contributed to the development of foundational medical knowledge, they are increasingly considered insufficient in preparing healthcare professionals for the multifaceted challenges of modern clinical practice. Contemporary healthcare environments demand not only theoretical understanding but also advanced clinical reasoning, adaptability, interdisciplinary collaboration, and lifelong learning competencies.

The growing recognition of these demands has catalyzed a paradigm shift from teacher-centered to learner-centered educational models. Modern teaching and learning methodologies are designed to actively engage students in the learning process, encouraging critical thinking, problem-solving, and the application of knowledge in real-world contexts. This shift aligns with the broader movement toward competency-based medical education (CBME), which emphasizes measurable outcomes, skill acquisition, and professional readiness rather than time-based progression. In this context, the primary objective of medical education is no longer limited to knowledge transmission but extends to the holistic development of competent, reflective, and patient-centered healthcare professionals.

Among the most influential innovations in medical education are problem-based learning (PBL) and case-based learning (CBL), both of which prioritize active engagement and contextualized learning. These approaches encourage students to explore clinical problems collaboratively, integrate interdisciplinary knowledge, and develop diagnostic reasoning skills. By confronting real or simulated clinical scenarios, learners are better able to bridge the gap between theory and practice. Similarly, simulation-based education (SBE) has emerged as a powerful tool for enhancing clinical competence, allowing students to practice procedures and decision-making in a safe, controlled environment without compromising patient safety. The integration of high-fidelity simulations, including virtual reality (VR) and augmented reality (AR), has further expanded the scope and effectiveness of experiential learning in medical training.

Another significant development in modern medical education is the adoption of flipped classroom models, which invert the traditional instructional structure by delivering theoretical content outside the classroom and utilizing in-class time for interactive, application-based

activities. This approach fosters deeper understanding, promotes student autonomy, and enables educators to provide targeted guidance and feedback. Additionally, peer-assisted learning (PAL) and collaborative learning strategies have gained prominence, reinforcing the importance of teamwork, communication, and shared responsibility in the learning process. These methods reflect the interdisciplinary nature of healthcare, where effective collaboration among professionals is essential for optimal patient outcomes.

The integration of digital technologies has further revolutionized medical education, creating new opportunities for accessibility, flexibility, and personalization. E-learning platforms, online resources, and mobile applications facilitate asynchronous learning and provide students with access to a vast array of educational materials. Artificial intelligence (AI) and data-driven tools enable personalized learning pathways, adaptive assessments, and real-time feedback, enhancing the efficiency and effectiveness of the educational process. Moreover, social media and digital communication platforms have emerged as valuable tools for knowledge dissemination, professional networking, and collaborative learning, extending the boundaries of traditional classroom environments.

In parallel with innovations in teaching methodologies, assessment strategies in medical education have also evolved significantly. Traditional examination formats, which primarily evaluate knowledge recall, are increasingly being supplemented by performance-based assessments that measure clinical competence in authentic contexts. Workplace-based assessment (WPBA) tools, such as the Mini Clinical Evaluation Exercise (Mini-CEX), Direct Observation of Procedural Skills (DOPS), and Entrustable Professional Activities (EPAs), provide structured frameworks for evaluating learners' performance in real clinical settings. These approaches emphasize continuous feedback, reflective practice, and progressive skill development, ensuring that learners achieve the competencies required for independent practice. Additionally, Objective Structured Clinical Examinations (OSCEs) and Objective Structured Practical Examinations (OSPEs) offer standardized methods for assessing a wide range of clinical and practical skills in simulated environments.

Despite the numerous advantages associated with modern teaching and learning methods, their implementation is not without challenges. Variability in institutional resources, technological infrastructure, and faculty expertise can significantly influence the adoption and effectiveness of these approaches. In many low- and middle-income countries, limited access to advanced technologies and financial constraints hinder the integration of innovative educational strategies. Furthermore, resistance to change among faculty members, who may be accustomed to traditional teaching practices, can impede the transition to learner-centered models. Effective implementation requires not only infrastructural investment but also comprehensive faculty development programs that equip educators with the necessary pedagogical skills and technological competencies.

Another critical consideration is the need to balance innovation with the preservation of essential foundational knowledge. While modern methodologies emphasize active learning and practical application, a strong theoretical base remains indispensable for clinical decision-making. Curriculum design must therefore ensure the integration of foundational sciences with clinical training, fostering a cohesive and comprehensive educational experience. Additionally, the rapid expansion of digital technologies raises concerns regarding information overload, quality assurance, and the potential for reduced face-to-face interaction, which is crucial for the development of communication and interpersonal skills.

Global disparities in medical education further highlight the importance of context-specific approaches. While high-resource institutions may readily adopt advanced technologies and

innovative pedagogies, resource-limited settings must adapt these methods to align with their capabilities and needs. International collaboration, knowledge sharing, and the dissemination of best practices are essential for reducing these disparities and promoting equitable access to high-quality medical education. Organizations such as the World Health Organization and various academic networks play a pivotal role in supporting the global advancement of medical education through guidelines, research initiatives, and capacity-building programs.

The increasing emphasis on patient-centered care and interprofessional collaboration necessitates the incorporation of soft skills training into medical curricula. Communication, empathy, ethical reasoning, and cultural competence are critical components of effective healthcare delivery. Modern educational approaches, including simulation, role-playing, and interprofessional education, provide valuable opportunities for developing these competencies. By fostering a holistic approach to learning, medical education can better prepare students to address the diverse needs of patients and communities in an increasingly globalized world.

The ongoing evolution of medical education reflects a broader commitment to improving healthcare outcomes through the development of highly skilled and adaptable professionals. As new technologies and pedagogical innovations continue to emerge, it is essential to critically evaluate their effectiveness and sustainability. Evidence-based approaches to education, supported by rigorous research and continuous quality improvement, are crucial for ensuring that innovations translate into meaningful improvements in learning outcomes and clinical practice.

In this context, the present study aims to provide a comprehensive analysis of modern teaching and learning methods in medical education, with a particular focus on their global application, effectiveness, and challenges. By systematically examining contemporary pedagogical strategies and their impact on student learning and professional development, this research seeks to contribute to the ongoing discourse on medical education reform. Understanding the strengths and limitations of these approaches will enable educators, policymakers, and institutions to make informed decisions regarding curriculum design, resource allocation, and the integration of innovative practices.

Ultimately, the future of medical education lies in its ability to adapt to the changing landscape of healthcare while maintaining a commitment to excellence, equity, and patient-centered care. By embracing modern teaching and learning methodologies, fostering interdisciplinary collaboration, and leveraging technological advancements, medical education can continue to evolve in ways that meet the needs of both learners and the societies they serve.

Advances in teaching and learning methodologies have had a major impact on the development of medical education. The article studies and discusses modern teaching and learning methods used in higher education institutions around the world, especially in medical education curricula. The article reviews the main aspects that shape modern teaching and learning methods, with regard to their importance, effectiveness and challenges for the development of competent healthcare professionals. Medical education is undergoing transformational change in response to the increasing complexity of healthcare delivery, technological advancements and changing needs of society. Traditional pedagogical approaches are being replaced by innovative teaching and learning methods designed to enhance student engagement, critical thinking and clinical competence. The article discusses the main issues related to the integration of these modern teaching and learning methodologies into higher medical education curricula globally. The manifestation of modern teaching and learning methods in higher education institutions, particularly in medical educational study programs, reflects a global trend toward enhancing the quality of medical education. By embracing student-centered approaches,

integrating new technology, and emphasizing competency-based education, medical faculties (medical schools) can better prepare future healthcare professionals for the complexities of modern healthcare delivery.

The transformation of higher education in medical programs worldwide has been significantly influenced by the adoption of modern teaching and learning methods. Traditional didactic teaching approaches, while foundational, are increasingly supplemented or replaced by innovative methodologies that emphasize student-centered learning, interdisciplinary collaboration, and the integration of technology. These contemporary methods address the evolving demands of healthcare systems, aiming to produce medical professionals who are not only knowledgeable but also adaptable, reflective, and capable of lifelong learning.

Modern teaching strategies such as problem-based learning (PBL), simulation-based education, flipped classrooms, and inter-professional education have gained prominence. These approaches prioritize active engagement, critical thinking, and the application of theoretical knowledge in practical settings. Additionally, technological advancements, including virtual reality (VR), augmented reality (AR), and online learning platforms, have expanded the possibilities for immersive and flexible learning experiences.

However, the implementation of these methods varies globally, influenced by cultural, economic, and institutional factors. In some regions, resource constraints and resistance to change pose significant challenges, while in others, rapid technological adoption fosters innovation. The discussion of these issues is essential for identifying best practices, addressing disparities, and ensuring that medical education aligns with the needs of modern healthcare environments.

This topic calls for a comprehensive examination of the scientific, pedagogical, and practical aspects of these methodologies, exploring their impact on student outcomes, faculty roles, and institutional policies. By addressing these dimensions, stakeholders in medical education can better understand how to optimize teaching and learning processes in diverse global contexts.

The most common teaching-learning activities and their definitions are presented. The teacher will select the necessary activity from them, depending on the specific goal and task.

We discussed the following methods of learning and teaching:

Discussion/debate is one of the most common methods of interactive learning activity. The discussion process dramatically increases the quality of student engagement and activity. The discussion can turn into an argument, and this process is not limited to questions asked by the teacher. It develops the student's ability to reason and justify his own opinion.

Cooperative teaching is a teaching strategy when each member of the group is obliged not only to study by himself, but also to help his teammate to study the subject better. Each member of the group works on the problem until all of them have mastered the issue.

Collaborative work – teaching method using this activity involves dividing students into groups and giving them learning tasks. Group members work on the issue individually and simultaneously share their opinions with the rest of the group. It depending on the task. It is possible to redistribute functions among the members during the work of the group. This strategy ensures maximum involvement of all students in the learning process.

Problem-based learning (PBL) - an activity that uses a specific problem as the initial stage of the process of acquiring and integrating new knowledge.

Case study – the teacher will discuss specific cases with the students and they will study the issue in every way and thoroughly.

Brain storming – this activity involves thinking about a specific issue/problem as much as possible within the topic, preferably.

Radically different, the promotion of thought, idea formation and expression. This activity leads to the development of a creative approach to the problem. Its use is effective in the presence of a large group of students and consists of several main stages: Defining the problem/issue from a creative point of view. To write down the ideas expressed by the listeners around the issue in a certain period of time without criticism (mainly on the blackboard). Determination of evaluation criteria to determine the relevance of the idea to the purpose of the research. Evaluation of selected ideas with predetermined criteria. To highlight those ideas that are most relevant to the question by exclusion. Revealing the idea with the highest evaluation as the best means of solving the set problem.

Role-playing and situational games – games based on pre-designed scenarios allow students to look at the issue from different perspectives. It helps them to form an alternative point of view. Like discussion, these games also develop the student's ability to express his position independently and defend it in an argument.

Demonstration – this method of activity involves visual presentation of information. It is quite effective in terms of achieving results. In many cases, it is better to present the material to students both audio and visual at the same time. The material to be studied can be demonstrated by both the teacher and the student. This method helps us to make visible the different stages of understanding the learning material, specify what the students will have to do independently. At the same time, this strategy visualizes the essence of the issue/problem. Demonstration may take a simple form.

Inductive defines a form of transfer of any knowledge, when the course of thought in the learning process is directed from facts to generalization, that is, when conveying material, the process proceeds from concrete to general.

Deductive defines a form of transfer of any knowledge, which is a logical process of discovering new knowledge based on general knowledge, that is, the process proceeds from the general to the specific.

Analysis helps us understand the learning material as a whole. In decomposition into constituent parts. This facilitates detailed coverage of individual issues within a complex problem.

Synthesis means making a whole by grouping separate issues. This method helps to develop the ability to see the problem as a whole.

Verbal or oral method - this method includes lecture, narration, conversation, etc. In the mentioned process, the teacher conveys and explains the learning material through words, and the students actively perceive and assimilate it by listening, memorizing and understanding.

Writing work method - which includes the following types of actions: making extracts and notes, summarizing material, drawing up theses, writing a report or essay, etc.

Explanatory method– based on reasoning around the given issue. When delivering the material, the teacher cites a specific example of which

Action-oriented teaching - requires the active involvement of the teacher and the student in the teaching process, where the practical interpretation of the theoretical material acquires special importance.

Project development and presentation - while working on the project, the student uses the acquired knowledge and skills to solve a real problem. Project-based teaching increases students' motivation and responsibility. Project work includes stages of planning, research, practical activity and presentation of results in accordance with the chosen issue. The project is considered to be implemented if its results are presented in a visible and convincing, correct form. It can be done individually, in pairs or in a group; Also, within one subject or several subjects (integration of subjects). After completion, the project can be presented to a wider

audience.

The integration of digital technology has further revolutionized medical education. Innovations like virtual reality (VR), augmented reality (AR), and artificial intelligence (AI) offer immersive learning experiences, enabling students to visualize complex anatomical structures, simulate surgical procedures, and receive personalized feedback. Online learning platforms and hybrid models have also expanded access to medical education, allowing for greater flexibility and inclusivity.

Despite these advancements, the implementation of modern teaching methods faces challenges that vary across regions. Resource availability, institutional readiness, faculty training, and cultural attitudes toward education play critical roles in shaping the adoption and effectiveness of these methodologies. For instance, while well-resourced institutions in developed countries have embraced cutting-edge technologies, many institutions in low- and middle-income countries struggle with limited infrastructure and funding. Moreover, the transition to modern methods often requires significant changes in faculty roles, curriculum design, and assessment practices, which can encounter resistance.

Globally, there is a pressing need to evaluate the effectiveness of these innovative methods through rigorous scientific studies. Understanding their impact on student learning outcomes, professional competencies, and overall healthcare delivery is essential. Furthermore, fostering global collaboration and sharing best practices can help bridge disparities, ensuring that medical education remains equitable and aligned with the global health agenda.

BACKGROUND

Medical education is undergoing substantial structural transformation as healthcare systems confront rapidly expanding scientific knowledge, technological innovation, demographic change, multimorbidity, workforce shortages, and increasingly complex patient-care environments. Contemporary educational models are therefore progressively shifting from predominantly content-centred and time-dependent approaches toward competency-based, outcomes-oriented frameworks in which learners are expected to integrate knowledge, skills, attitudes, professional behaviours, communication, collaboration, and clinical judgement within authentic practice contexts. The World Health Organization identifies competency-based education as an important mechanism for aligning health-professional education with population needs and health-system requirements, emphasizing competencies including people-centredness, decision-making, communication, collaboration, evidence-informed practice, and professional conduct.

This transformation is accompanied by increasing recognition that conventional disciplinary fragmentation may inadequately prepare graduates for complex clinical practice. Contemporary curricula increasingly seek integration of biomedical sciences, clinical disciplines, public health, pharmacology, pharmacy, nursing, behavioural sciences, research methodology, and health informatics. Such integration facilitates longitudinal development of clinical reasoning and enables learners to connect foundational scientific mechanisms with diagnostic, therapeutic, preventive, and patient-safety decisions. Interprofessional education further strengthens this paradigm by preparing learners to collaborate across professional boundaries and participate effectively in multidisciplinary healthcare teams.

Pedagogical innovation has consequently become central to educational reform. Problem-based learning, case-based learning, team-based learning, simulation, workplace-based learning, reflective practice, structured feedback, and experiential education provide opportunities for active knowledge construction and application. Recent evidence concerning competency-based

simulation indicates beneficial effects on procedural-skill outcomes while also identifying continuing challenges concerning standardized terminology, assessment methods, and translation of educational gains into clinical practice.

Digital transformation represents another major component of contemporary medical education. Online learning, virtual patients, electronic learning environments, simulation technologies, tele-education, artificial intelligence, learning analytics, and mobile platforms can expand educational accessibility and support continuous professional development. Nevertheless, WHO emphasizes that the effectiveness of digital health-workforce education varies according to learning objectives, technological modality, educational context, instructional methodology, assessment strategy, and professional specialty. The 2026 WHO landscape analysis further identifies digital-health competencies spanning patient care, data and informatics, communication, technical proficiency, digital professionalism, and administration.

Contemporary medical education increasingly requires constructive alignment among curriculum, learning activities, assessment, technology, clinical practice, and graduate outcomes. The educational process must extend beyond initial qualification toward lifelong learning because scientific and technological knowledge continuously evolves. WHO's learning strategy explicitly positions competency-based, learner-centred, lifelong education as essential for maintaining an adaptable health workforce. Within this context, transforming medical education constitutes a systemic process involving curricular architecture, pedagogical innovation, interprofessional collaboration, digital competency, authentic assessment, faculty development, clinical integration, and continuous quality improvement.

Contemporary medical education is undergoing a profound structural, pedagogical, technological, and epistemological transformation in response to the increasing complexity of healthcare delivery, accelerated biomedical discovery, digitalization of clinical practice, demographic transition, multimorbidity, global health challenges, and changing expectations regarding the professional capabilities of physicians and other health professionals. The traditional educational paradigm, predominantly organized around disciplinary content acquisition, teacher-centred transmission of knowledge, episodic assessment, and relatively rigid separation between preclinical and clinical instruction, is increasingly being reconceptualized toward competency-oriented, learner-centred, clinically authentic, interdisciplinary, interprofessional, digitally enabled, and outcomes-driven educational architectures. This transformation reflects a broader recognition that the principal objective of medical education is not merely the accumulation of biomedical information, but the progressive development of integrated professional capabilities that enable graduates to apply knowledge, perform clinical procedures, exercise diagnostic and therapeutic reasoning, communicate effectively, collaborate across professional boundaries, demonstrate ethical conduct, utilize evidence appropriately, and respond adaptively to evolving healthcare environments.

The conceptual foundations of competency-based medical education (CBME) have consequently become increasingly important within contemporary curriculum development. Competency-based education places demonstrable capabilities and meaningful educational outcomes at the centre of programme design rather than defining achievement predominantly through time spent in educational settings or completion of predetermined volumes of curricular content. The WHO Global Competency and Outcomes Framework for Universal Health Coverage identifies six broad competency domains—people-centredness, decision-making, communication, collaboration, evidence-informed practice, and personal conduct—and links

these competencies to curriculum development, learning activities, and assessment strategies. This conceptual orientation has substantial implications for medical schools because competencies must be translated into observable learning outcomes, progressively developed through educational experiences, and evaluated using valid assessment approaches.

The movement toward competency-based education also reflects the changing requirements of contemporary healthcare systems. Physicians increasingly work within complex clinical environments characterized by multimorbidity, polypharmacy, fragmented care pathways, rapid technological innovation, multidisciplinary decision-making, and expanding requirements for patient participation in clinical decisions. Consequently, medical graduates require an educational foundation that extends beyond isolated factual knowledge. They must demonstrate the ability to synthesize information, identify clinically relevant evidence, interpret diagnostic data, prioritize competing clinical problems, recognize uncertainty, communicate risks and benefits, collaborate with other professionals, and maintain patient-centredness under conditions of complexity. Competency therefore represents an integrative construct involving knowledge, technical and procedural skills, cognitive performance, communication, professional attitudes, ethical reasoning, self-regulation, and contextual adaptability.

An important consequence of this conceptual shift is the necessity for outcome-oriented curricular architecture. Curriculum design increasingly requires explicit alignment among institutional mission, graduate attributes, programme-level competencies, course-level learning outcomes, teaching and learning activities, clinical experiences, assessment strategies, and expected professional performance. Constructive alignment is particularly relevant because educational activities should provide learners with appropriate opportunities to develop the competencies subsequently assessed. The WHO framework similarly emphasizes alignment between competency-based educational outcomes, curricula, learning activities, and assessment. Thus, curriculum transformation cannot be reduced to the addition of individual innovative courses or technologies; rather, it requires systemic reconsideration of how educational objectives, content, pedagogy, assessment, clinical exposure, faculty roles, and institutional quality assurance interact.

Curricular integration represents another major dimension of this transformation. Conventional medical curricula have historically been organized according to academic disciplines, with anatomy, physiology, biochemistry, pharmacology, pathology, microbiology, and clinical specialties frequently taught in relatively independent curricular units. Although disciplinary specialization remains essential for developing scientific depth, excessive curricular fragmentation may limit learners' capacity to integrate biomedical mechanisms with clinical manifestations, diagnostic reasoning, pharmacotherapeutic decision-making, and patient management. Contemporary curriculum models therefore increasingly emphasize horizontal integration across biomedical disciplines and vertical integration between basic sciences and clinical medicine. Spiral curricular structures can reinforce progressive revisiting of foundational concepts at increasingly sophisticated levels of complexity, while clinically contextualized biomedical education can demonstrate the relevance of fundamental sciences to actual patient care.

Pedagogical innovation constitutes a further foundational component of modern medical education. Problem-based learning, case-based learning, team-based learning, inquiry-based learning, peer-assisted learning, reflective practice, simulation-based education, workplace-based learning, and experiential learning have expanded the pedagogical repertoire available to medical educators. These approaches differ in their theoretical assumptions and implementation requirements, and their educational effects are dependent upon curriculum design, learner

characteristics, faculty preparation, assessment alignment, and institutional context. Nevertheless, their common conceptual feature is a movement away from passive information reception toward active cognitive, behavioural, social, and reflective engagement.

Problem-based and case-based approaches can facilitate the integration of biomedical knowledge with clinical reasoning by presenting learners with authentic or realistically constructed clinical problems. Rather than receiving fragmented information independently, students are required to identify knowledge gaps, formulate hypotheses, interpret evidence, prioritize clinical problems, and justify decisions. Team-based learning further introduces structured collaborative processes through which individual preparation is followed by collective reasoning and application of knowledge. Such approaches are particularly relevant to contemporary clinical environments in which professional decision-making increasingly depends upon communication, shared situational awareness, and multidisciplinary collaboration.

Simulation-based education has become particularly prominent because it enables learners to practice clinical procedures, communication, teamwork, crisis management, and decision-making in controlled environments before performing comparable activities with patients. Simulation can range from low-technology skills models to sophisticated high-fidelity patient simulators, standardized patients, virtual patients, computer-based environments, immersive technologies, and hybrid simulation systems. Importantly, simulation is not intrinsically educational merely because it incorporates advanced technology. Its value depends upon the quality of scenario construction, learning objectives, facilitation, learner engagement, debriefing, assessment, and transfer of learning to clinical practice. Recent evidence from a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials found that interdisciplinary simulation-based teaching significantly improved interprofessional knowledge, supporting the educational relevance of structured collaborative simulation.

Interprofessional education (IPE) has consequently emerged as an important component of contemporary health professions education. Modern healthcare is delivered through teams comprising physicians, nurses, pharmacists, physiotherapists, laboratory professionals, public health specialists, psychologists, social workers, and other professionals. Educational systems that prepare students exclusively within professional silos may inadequately address the collaborative competencies required in real-world healthcare. IPE creates opportunities for learners from different professional backgrounds to understand complementary scopes of practice, develop shared mental models, communicate across professional boundaries, negotiate clinical responsibilities, and appreciate the contribution of other disciplines to patient outcomes. Collaborative competence is therefore increasingly conceptualized as a professional capability rather than an optional interpersonal attribute.

Clinical reasoning constitutes another central target of curricular transformation. Medical education must progressively develop learners' abilities to gather relevant information, formulate differential diagnoses, recognize patterns while avoiding cognitive bias, interpret laboratory and imaging findings, estimate probabilities, integrate patient preferences, and formulate evidence-informed management plans. Clinical reasoning cannot be effectively cultivated through factual memorization alone. It requires repeated exposure to authentic or simulated clinical problems, structured reflection, deliberate practice, feedback, and progressive responsibility. The integration of basic sciences with clinical cases is particularly important because mechanistic understanding can strengthen diagnostic interpretation and therapeutic decision-making.

Assessment has consequently undergone substantial conceptual transformation. Traditional

examinations remain useful for evaluating aspects of factual and conceptual knowledge, but contemporary competency frameworks require broader assessment systems capable of capturing integrated clinical performance. Objective Structured Clinical Examinations (OSCEs), workplace-based assessments, direct observation, simulation-based assessment, oral examinations, case-based assessments, portfolios, reflective assignments, multisource feedback, and programmatic assessment can collectively provide information about different dimensions of learner development. No single assessment instrument is sufficient to capture the full complexity of clinical competence. Accordingly, contemporary assessment architecture increasingly emphasizes triangulation, longitudinal evidence, multiple assessors, multiple contexts, and repeated observations.

Feedback is integral to this process. Competency development requires learners to understand the difference between current performance and expected performance and to identify specific strategies for improvement. Effective feedback should therefore be timely, specific, actionable, evidence-informed, and integrated with opportunities for subsequent practice. Reflective practice can complement feedback by encouraging learners to examine clinical experiences, identify errors and uncertainties, evaluate decision-making processes, and develop strategies for future improvement. These processes contribute to self-regulated learning and professional identity formation.

Professional identity represents another important dimension of contemporary medical education. The physician's professional role encompasses scientific competence, ethical responsibility, communication, compassion, accountability, teamwork, respect for patients, commitment to evidence-informed practice, and responsibility toward society. Professionalism therefore cannot be adequately addressed through isolated lectures on ethics or codes of conduct. It must be developed longitudinally through role modelling, clinical experiences, reflective practice, assessment, institutional culture, mentoring, and interaction with patients and healthcare teams. The hidden curriculum—the implicit norms, values, behaviours, and power relationships experienced by learners—can substantially influence professional identity and should therefore be considered within educational quality improvement.

Patient-centredness has similarly become an essential educational principle. Medical education increasingly recognizes patients as active participants rather than passive recipients of healthcare. Students require competencies in shared decision-making, health communication, informed consent, respect for autonomy, cultural responsiveness, health literacy, and recognition of individual patient priorities. These capabilities are closely related to the WHO competency domain of people-centredness and reinforce the broader principle that healthcare education should remain connected to population and patient needs.

Evidence-based practice and research literacy constitute additional foundations of contemporary medical education. The exponential growth of biomedical literature makes it impossible for clinicians to rely exclusively on memorized knowledge acquired during undergraduate education. Graduates must therefore acquire capabilities in literature searching, critical appraisal, interpretation of clinical research, understanding of statistical concepts, evaluation of diagnostic and therapeutic evidence, recognition of methodological limitations, and translation of evidence into individualized clinical decisions. Research literacy also contributes to intellectual independence and lifelong learning, allowing clinicians to update their knowledge as scientific evidence evolves.

Digital transformation has introduced another major dimension to medical education. Electronic health records, telemedicine, clinical decision-support systems, digital learning platforms, virtual patients, online assessment, learning analytics, artificial intelligence,

augmented and virtual reality, mobile learning, and other digital technologies increasingly influence both healthcare delivery and educational practice. However, technology should not be conceptualized as an educational objective in itself. The WHO has emphasized that the effectiveness of digital health education varies according to learning objectives, modality, educational context, teaching methods, assessment approaches, learner populations, and clinical disciplines. Consequently, successful digital transformation requires pedagogical intentionality, appropriate instructional design, faculty competence, infrastructure, accessibility, technical support, and rigorous evaluation.

The importance of digital competence has become even more pronounced with the rapid development of artificial intelligence and data-intensive healthcare. A 2026 WHO landscape analysis identifies recurring digital health competency domains involving patient care, data and informatics, communication, technical proficiency, digital professionalism, and administration. Medical education must therefore prepare learners not only to operate digital systems but also to understand data quality, algorithmic limitations, cybersecurity, privacy, interoperability, digital professionalism, and responsible use of AI-assisted technologies. AI literacy should include the ability to critically interpret algorithmic outputs, recognize uncertainty and potential bias, maintain human oversight, protect patient confidentiality, and understand the distinction between computational prediction and clinical judgment.

The increasing role of AI also introduces new questions concerning assessment, academic integrity, authorship, clinical responsibility, and the future configuration of professional work. Educational institutions must therefore distinguish between appropriate educational use of generative and predictive technologies and inappropriate substitution of automated systems for independent reasoning. Rather than attempting to isolate learners from technological developments, curricula increasingly need to cultivate responsible, critical, transparent, and professionally governed interaction with AI and digital systems. The 2025 World Health Assembly documentation likewise reflects the growing emphasis on competency-based education and the inclusion of digital health competencies, artificial intelligence, and other appropriately validated medical innovations within health-worker education and lifelong learning.

Digital transformation nevertheless raises important questions concerning equity and accessibility. Differences in connectivity, device availability, digital literacy, institutional resources, language accessibility, disability accommodation, and technological infrastructure may create unequal opportunities for learners. WHO evidence has highlighted the importance of the digital divide as a potential barrier to equitable participation in digital health education. Therefore, digital medical education should incorporate principles of accessibility, inclusivity, universal design, technological sustainability, and contextual appropriateness. Blended approaches may be particularly useful where they combine the flexibility of digital learning with the interpersonal and practical advantages of face-to-face education and clinical experience.

Faculty development is another indispensable prerequisite for sustainable educational transformation. Medical expertise does not automatically confer expertise in curriculum design, educational assessment, simulation facilitation, digital pedagogy, feedback, learning analytics, or educational scholarship. Faculty members therefore require continuing development in modern educational methodologies and assessment sciences. They increasingly function not only as lecturers but also as facilitators, clinical supervisors, mentors, assessors, curriculum designers, educational researchers, and role models. WHO's current competency-based learning strategy similarly emphasizes alignment of course design, delivery modes, learning activities,

assessment, recognition of achievement, evaluation of learning impact, and transfer to practice. The clinical learning environment is equally important because competence cannot be fully developed independently of authentic practice. Clinical placements expose learners to real patients, multidisciplinary teams, organizational systems, ethical dilemmas, uncertainty, resource limitations, and the consequences of clinical decisions. Effective clinical education requires adequate supervision, appropriate patient exposure, psychological safety, constructive feedback, opportunities for participation, and alignment between academic and clinical expectations. Where clinical learning environments are overcrowded, poorly supervised, technologically outdated, or disconnected from curricular outcomes, even sophisticated university-based educational innovations may have limited practical impact.

The relationship between medical education and health-system priorities has consequently become increasingly explicit. Educational institutions are expected to produce graduates whose competencies correspond to population health requirements, healthcare workforce needs, professional standards, technological developments, and emerging public health challenges. WHO's Global Competency and Outcomes Framework explicitly connects health-worker education with population health needs and health-system demands. More recent WHO initiatives similarly emphasize competency-based approaches, tracking of health-worker competencies, digital health capability, lifelong learning, and adaptation to modern health-system requirements.

Lifelong learning therefore constitutes a fundamental component of the contemporary medical education continuum. Rapid developments in pharmacotherapy, molecular medicine, medical devices, digital health, genomics, artificial intelligence, and clinical guidelines mean that undergraduate graduation can no longer represent the endpoint of professional learning. Instead, medical education should establish the intellectual, behavioural, and metacognitive foundations for continuing professional development. The WHO Academy explicitly identifies lifelong learning as essential for enabling health workers to adapt to new technologies, emerging diseases, and changing healthcare practices.

Globalization further complicates the transformation of medical education because educational standards, healthcare systems, cultural expectations, regulatory structures, and available resources vary considerably among countries and institutions. International frameworks can provide common conceptual foundations, but their implementation requires contextual adaptation. A competency framework developed in one healthcare system may require modification before implementation in another because of differences in epidemiology, healthcare organization, professional scope of practice, educational infrastructure, language, culture, technology access, and regulatory requirements. Consequently, global medical education should pursue both international comparability and contextual responsiveness.

Quality assurance and accreditation mechanisms are therefore increasingly important. Contemporary medical schools require systematic processes for curriculum monitoring, outcome measurement, assessment quality, faculty development, student feedback, graduate tracking, clinical partner engagement, and continuous programme improvement. Educational quality should not be interpreted solely through examination scores. Meaningful evaluation should examine whether graduates demonstrate the competencies expected by patients, professional organizations, regulators, employers, healthcare systems, and society.

Against this background, transforming contemporary medical education can be understood as a multidimensional systemic process rather than a collection of isolated innovations. Competency-based education establishes the conceptual foundation; outcome-oriented curriculum architecture provides structural alignment; active and experiential pedagogies

strengthen learner engagement; simulation and workplace learning support clinical authenticity; interprofessional education develops collaborative practice; digital technologies expand educational possibilities; artificial intelligence introduces new forms of learning and professional responsibility; authentic assessment provides evidence of competence; faculty development enables implementation; and lifelong learning ensures continuity beyond graduation.

The contemporary medical curriculum can therefore be conceptualized as an adaptive educational ecosystem in which scientific knowledge, clinical practice, professional identity, technological competence, collaborative capability, ethical reasoning, patient-centredness, research literacy, and lifelong learning are interconnected. The central educational challenge is not simply to incorporate more content, more technology, or more assessment, but to establish coherent relationships among these dimensions so that learners progressively transform knowledge into reliable professional performance. Such an approach is consistent with the contemporary WHO emphasis on competency-based, learner-centred, accessible, and lifelong health-professional education.

The background to contemporary medical education transformation is characterized by a fundamental transition from information transmission toward competency formation, from disciplinary isolation toward curricular integration, from professional silos toward interprofessional collaboration, from episodic examinations toward longitudinal assessment, from conventional classrooms toward multimodal learning ecosystems, and from technology adoption toward digitally competent and ethically governed educational practice. This transition establishes the conceptual basis for examining the interconnected dimensions of pedagogical innovation, interprofessional learning, technological integration, outcome-oriented curricular architecture, and clinical professional competence development within a global evidence-synthesized framework.

GOAL

The principal goal of this scholarly disquisition is to critically examine the fundamental dimensions of transforming contemporary medical education through a global evidence-synthesized perspective, with particular emphasis on pedagogical innovation, competency-based educational paradigms, interprofessional learning, technological and digital integration, outcome-oriented curricular architecture, authentic assessment, and systematic development of clinical professional competence. The analysis seeks to elucidate how contemporary medical curricula can be reconfigured to establish stronger alignment among educational objectives, learning activities, assessment strategies, clinical practice, professional expectations, population health requirements, and lifelong learning. Particular attention is directed toward the integration of biomedical and clinical sciences, simulation-based and experiential education, digital health competencies, artificial intelligence, evidence-informed practice, collaborative learning, patient-centredness, professionalism, and continuous competency progression. The broader objective is to conceptualize medical education as an adaptive, interdisciplinary, technologically enabled, learner-centred, and clinically authentic educational ecosystem capable of preparing healthcare professionals for increasingly complex healthcare environments while maintaining scientific rigor, educational quality, equity, patient safety, and professional accountability. This orientation corresponds with WHO's competency framework, which emphasizes people-centredness, decision-making, communication, collaboration,

evidence-informed practice, and personal conduct as interconnected health-worker competencies.

METHODOLOGY

The present investigation employed an **integrative and evidence-synthesized methodological design** to examine contemporary transformations in medical education. The methodological framework was constructed around systematic conceptual analysis of major educational domains, including competency-based medical education, pedagogical innovation, interprofessional education, curriculum integration, simulation-based learning, workplace-based education, digital and technology-enhanced learning, artificial intelligence, assessment methodology, clinical competence development, faculty development, professional identity formation, patient-centred education, evidence-based medicine, health equity, and lifelong professional learning. The methodological orientation was informed by contemporary international health-professions education frameworks and educational evidence, with particular consideration of WHO competency-based education and digital-health competency guidance.

The evidence-synthesis process incorporated relevant scientific and institutional literature addressing medical education reform, curriculum development, competency frameworks, innovative pedagogies, clinical skills acquisition, interprofessional learning, digital education, simulation, assessment, and educational quality assurance. Priority was given to internationally recognized guidance, contemporary peer-reviewed literature, systematic reviews, methodological publications, and authoritative health-professional education frameworks. The conceptual scope was deliberately interdisciplinary, incorporating perspectives from medical education, clinical medicine, educational science, health workforce development, educational psychology, health informatics, clinical pharmacology, pharmacy education, nursing education, public health, and implementation science.

The methodological analysis was organized according to several interconnected analytical dimensions. Competency-based educational models were examined in relation to explicit learning outcomes, developmental progression, authentic practice activities, assessment, feedback, and transfer of learning into clinical environments. WHO's Global Competency and Outcomes Framework was used as an important conceptual reference because it links competencies with curricula, learning activities, and assessment and identifies domains encompassing people-centredness, decision-making, communication, collaboration, evidence-informed practice, and personal conduct.

Contemporary pedagogical strategies were comparatively examined according to their educational purpose and potential contribution to knowledge acquisition, clinical reasoning, practical skills, communication, teamwork, reflective practice, and professional development. Problem-based learning, case-based learning, team-based learning, simulation, experiential learning, workplace-based learning, peer learning, and reflective approaches were considered as complementary rather than mutually exclusive methodologies.

Technological transformation was analyzed according to educational functionality, implementation context, accessibility, sustainability, and competency development. Digital learning environments, virtual patients, online education, simulation technologies, artificial intelligence, learning analytics, mobile learning, tele-education, and electronic assessment were examined in relation to their capacity to support personalized learning, accessibility, feedback, repeated practice, and continuing professional development. This approach recognizes that the educational effectiveness of digital technologies varies according to learning objectives,

modality, context, instructional strategy, assessment methodology, learner characteristics, and professional discipline.

Curricular architecture was examined through the principles of constructive alignment, vertical and horizontal integration, spiral progression, competency mapping, interdisciplinary organization, and outcome-oriented programme design. Particular attention was directed toward the relationship between intended learning outcomes and the selection of teaching, learning, clinical, and assessment activities. Assessment methodologies were considered according to their validity, reliability, feasibility, appropriateness, authenticity, and capacity to document progressive competence. WHO guidance similarly emphasizes alignment between assessment methods and intended learning outcomes, together with validity, reliability, feasibility, and contextual appropriateness.

Clinical professional competence was analyzed as a multidimensional construct integrating biomedical knowledge, clinical reasoning, procedural performance, communication, collaboration, professionalism, ethical practice, patient safety, evidence-informed decision-making, digital literacy, and reflective learning. The analysis consequently avoided reducing competence to examination performance alone and instead considered longitudinal development across simulated, educational, and authentic clinical environments.

Interprofessional learning was examined in relation to multidisciplinary teamwork, role clarification, communication, collaborative decision-making, shared responsibility, and patient-centred care. The analysis considered interprofessional competence as an essential component of contemporary clinical practice because healthcare delivery increasingly depends upon coordinated contributions from multiple professional groups.

The methodology incorporated contextual and implementation considerations. Educational innovations were evaluated not solely according to theoretical effectiveness but also according to feasibility, institutional infrastructure, faculty preparedness, resource requirements, learner accessibility, sustainability, scalability, and compatibility with local healthcare systems. This is particularly important for digital education, for which WHO identifies infrastructure, usability, effectiveness, economic considerations, and sustainability among relevant evaluation dimensions.

The analytical process involved thematic synthesis, conceptual comparison, identification of convergent and divergent educational approaches, interpretation of contemporary trends, and integration of evidence into a multidimensional framework. Findings were interpreted descriptively and critically rather than through unsupported quantitative extrapolation. No primary patient-level or student-level dataset was introduced, and no numerical educational outcomes were fabricated. Consequently, the resulting analysis represents an evidence-informed scholarly synthesis rather than a primary experimental investigation.

Methodological limitations inherent in this approach include heterogeneity among educational systems, variation in competency definitions, differences in assessment instruments, inconsistent reporting of educational interventions, contextual differences among medical schools, and variable quality and generalizability of evidence concerning emerging technologies. Digital education evidence, for example, can vary substantially according to modality, educational objective, learner population, discipline, and implementation context. These limitations were considered during interpretation.

The methodology was designed to provide an integrated analytical framework capable of connecting educational theory with curriculum design, pedagogical practice, technology, assessment, clinical performance, and workforce development. The approach is consistent with contemporary competency-based learning principles, in which competencies are explicitly

defined, progressively developed, appropriately assessed, and ultimately transferred into professional practice.

RESULTS AND DISCUSSION

The transformation of contemporary medical education is increasingly characterized by a transition from predominantly discipline-centered, content-intensive, teacher-directed models toward integrated, learner-centered, competency-oriented, technology-enhanced, and clinically contextualized educational ecosystems. The evidence synthesized from recent systematic reviews, scoping reviews, international consensus work, and global health competency frameworks indicates that this transformation is not attributable to a single pedagogical innovation. Rather, it represents a multidimensional restructuring of how medical knowledge is selected, organized, delivered, practiced, assessed, and translated into professional performance. Contemporary medical education is therefore increasingly conceptualized as a continuum extending from foundational biomedical knowledge through clinical reasoning, communication, teamwork, digital competence, professionalism, reflective practice, and sustained capacity for lifelong learning. Recent evidence further demonstrates that curriculum modernization is most meaningful when educational innovations are aligned with explicit learning outcomes, appropriate assessment strategies, faculty capability, institutional infrastructure, and the clinical realities in which graduates are expected to function.

A central finding of the present evidence synthesis is that pedagogical innovation has progressively shifted the educational emphasis from passive acquisition of information toward active cognitive engagement. Problem-based learning, case-based learning, simulation-based learning, team-based learning, flipped classrooms, experiential learning, and blended instructional models have increasingly been incorporated to promote analytical reasoning, knowledge application, collaborative learning, and clinical decision-making. A 2024 systematic review and network meta-analysis incorporating 80 randomized controlled trials and 6,180 medical students demonstrated that several active-learning approaches produced favorable educational outcomes compared with conventional lecture-based learning, with problem-based, case-based, and simulation-oriented approaches demonstrating substantial educational effects across different outcome domains. Importantly, the evidence did not establish a universal pedagogical method that should replace all others; instead, effectiveness varied according to the intended learning outcome, curricular context, implementation design, and educational stage. This supports a principle of pedagogical pluralism in which instructional strategies are selected according to the competency being developed rather than applied as generic educational preferences.

The findings indicate that the contemporary pedagogical environment is therefore moving toward instructional architectures characterized by active participation, contextualization, feedback, reflection, and progressive complexity. Traditional lectures remain relevant for efficiently introducing complex conceptual frameworks, organizing foundational knowledge, and establishing common intellectual reference points, but their educational contribution is increasingly strengthened through subsequent application. In a transformed curriculum, a pharmacological mechanism, anatomical principle, pathophysiological process, or diagnostic concept is not treated exclusively as an endpoint of memorization; rather, it becomes an intellectual instrument that learners must apply to authentic or simulated clinical situations. Case-based and problem-based methodologies facilitate this transition by requiring students to interpret information, identify clinically relevant problems, formulate hypotheses, justify decisions, evaluate alternatives, and communicate conclusions. Such processes support the

development of clinical reasoning because they reproduce important elements of professional cognition rather than merely reproducing the structure of textbook knowledge.

Simulation constitutes another major dimension of contemporary pedagogical transformation. Simulation-based learning enables students to encounter clinical scenarios in controlled environments in which errors can be identified and corrected without exposing patients to avoidable risk. High-fidelity mannequins, standardized patients, virtual patients, procedural trainers, augmented reality, virtual reality, and increasingly interactive digital environments allow educational institutions to reproduce clinical complexity with varying degrees of realism. Recent systematic evidence identifies simulation as a recurrent technology-enhanced educational approach associated particularly with development of clinical reasoning and psychomotor skills. At the same time, simulation is most educationally productive when accompanied by structured preparation, explicit objectives, observation, debriefing, feedback, and opportunities for repeated performance rather than when technology is treated as an educational intervention in itself.

An important finding is therefore that technological sophistication does not automatically produce educational effectiveness. The pedagogical architecture surrounding technology remains decisive. Evidence from systematic reviews of learning technologies demonstrates that virtual patient simulations, three-dimensional modeling, augmented reality, video conferencing, mobile learning, and related digital modalities can improve knowledge retention, motivation, self-directed learning, confidence, and aspects of clinical skills. However, these outcomes depend upon purposeful curriculum integration, appropriate instructional design, faculty preparation, technical reliability, and alignment between the technology and the intended learning outcome. Technology becomes educationally meaningful when it solves a pedagogical problem, expands opportunities for practice, increases access to authentic learning experiences, or strengthens assessment and feedback.

The evidence further demonstrates that blended learning has become an important structural component of contemporary medical education. Rather than treating online learning and face-to-face instruction as competing models, blended architectures integrate asynchronous knowledge acquisition with synchronous discussion, practical instruction, clinical exposure, simulation, and formative assessment. Such integration can provide learners with greater flexibility while preserving opportunities for interpersonal communication and supervised practice. The synthesis of technology trends indicates that e-learning platforms and blended approaches support knowledge acquisition and collaborative learning, while simulation-based technologies are particularly relevant to psychomotor and clinical reasoning development. Nevertheless, infrastructure disparities, cost, faculty training requirements, digital inequity, and variable institutional readiness remain important barriers to implementation.

The transformation of medical education is also increasingly associated with interprofessional education and collaborative practice. Modern healthcare is inherently multidisciplinary, requiring physicians, pharmacists, nurses, dentists, physiotherapists, laboratory professionals, psychologists, public health specialists, and other professionals to coordinate clinical decisions and patient-centered care. Consequently, medical education that isolates learners within professional silos may inadequately reproduce the collaborative environments in which healthcare is actually delivered. Contemporary interprofessional education seeks to address this discrepancy by creating structured opportunities for students from different health professions to learn with, from, and about one another.

The synthesized evidence supports a positive relationship between interprofessional educational experiences and development of communication, collaboration, teamwork, and

interprofessional attitudes. A 2024 state-of-the-art review identified community-based, problem-based, experiential, and technology-based learning as important approaches influencing interprofessional education effectiveness. The review additionally emphasized that learner characteristics, team leadership, educational background, readiness for interprofessional learning, and interprofessional attitudes influence outcomes. These findings indicate that simply placing students from different disciplines in the same classroom does not constitute effective interprofessional education. Meaningful interprofessional learning requires purposeful interaction, defined collaborative objectives, role clarification, authentic clinical or community problems, facilitation, and opportunities to reflect on team processes.

Recent evidence also challenges the assumption that one interprofessional teaching strategy is universally superior. A 2025 systematic narrative review found that simulation was commonly used and could influence attitudes toward interprofessional learning, while role-play, group discussion, and case-based strategies were associated with improvements in communication and collaboration. The review concluded that no single instructional strategy could be regarded as universally dominant across interprofessional learning outcomes. Instead, the educational setting, theoretical framework, instructional design, and targeted learning outcomes must be deliberately matched. This finding reinforces the broader conclusion that curricular transformation should be competency-driven rather than technology-driven or methodology-driven.

Interprofessional education also contributes to the broader transformation of professional identity. Traditional professional education frequently emphasizes discipline-specific knowledge and responsibilities before introducing collaborative practice. Contemporary models increasingly recognize that professional identity includes the capacity to understand one's own professional boundaries while simultaneously recognizing the knowledge, responsibilities, and expertise of other health professions. Interprofessional education can therefore contribute to role clarification, mutual respect, communication, shared decision-making, and collaborative responsibility. These attributes are particularly important in complex clinical environments involving polypharmacy, chronic disease, multimorbidity, emergency care, surgery, intensive care, oncology, mental health, and population health.

The evidence concerning curricular architecture demonstrates another fundamental transformation: movement from fragmented subject organization toward longitudinal, integrated, outcome-oriented curricula. Conventional curricula often separate anatomy, physiology, biochemistry, pharmacology, pathology, microbiology, and clinical disciplines into discrete academic compartments. Although disciplinary organization remains necessary for systematic knowledge development, contemporary educational models increasingly connect these domains through organ-system curricula, clinical cases, integrated modules, longitudinal clinical experiences, spiral curricula, and competency frameworks. Such architecture facilitates horizontal integration across disciplines and vertical integration between basic science and clinical practice.

This curricular reconfiguration reflects the recognition that professional competence is multidimensional. Medical graduates require biomedical knowledge, but knowledge alone is insufficient for safe and effective clinical practice. Competence also encompasses history taking, physical examination, diagnostic reasoning, therapeutic decision-making, procedural skills, communication, teamwork, professionalism, ethical reasoning, health advocacy, evidence appraisal, digital literacy, and self-directed learning. The educational objective consequently shifts from “covering content” toward enabling learners to demonstrate defined outcomes under appropriate conditions.

Competency-based medical education represents a major manifestation of this transformation. Its fundamental orientation is toward demonstrable competence rather than the mere completion of educational time or exposure to curricular content. Evidence from evaluations of competency-based curricula shows substantial international implementation across undergraduate and postgraduate health professions education, although considerable heterogeneity exists in evaluation methods, reporting practices, assessment standards, and institutional implementation. A 2024 systematized review identified 38 studies evaluating competency-based curricula across multiple regions and noted that many reports insufficiently clarified evaluation objectives, approaches, instruments, standards, and communication processes.

This finding is particularly important because curricular transformation cannot be separated from assessment transformation. If institutions introduce competency-based learning objectives but continue to assess students predominantly through episodic recall-oriented examinations, a structural contradiction emerges between the declared curriculum and the assessed curriculum. Competency-based education therefore requires alignment among intended learning outcomes, instructional activities, clinical experiences, assessment instruments, feedback mechanisms, progression decisions, and graduation standards.

Recent evidence on undergraduate competency-based medical education demonstrates increasing use of formative assessment, portfolios, rubrics, peer feedback, online assessment, automated feedback, objective structured clinical examinations, mini-clinical evaluation exercises, direct observation of procedural skills, and workplace-based assessment. These approaches expand assessment beyond the measurement of declarative knowledge and allow educators to examine how learners perform tasks, communicate, reason, reflect, and respond to feedback.

A particularly significant finding is the growing importance of assessment for learning rather than assessment exclusively of learning. Formative assessment provides information that can influence subsequent learning, while summative assessment primarily supports decisions concerning progression or certification. Contemporary competency-based systems increasingly seek to integrate both functions while reducing the negative consequences associated with high-stakes assessment. Narrative feedback, repeated observation, portfolios, structured reflection, and longitudinal performance data can provide richer representations of learner development than isolated examinations. Nevertheless, implementation remains complicated by assessor variability, workload, limited faculty development, inconsistent standards, and tensions between formative and summative functions.

Workplace-based assessment is particularly relevant because competence must ultimately be expressed within real clinical environments. Classroom performance does not necessarily demonstrate how a learner will function during patient encounters, clinical handovers, medication review, procedural performance, diagnostic reasoning, or multidisciplinary decision-making. Workplace-based assessment provides an opportunity to evaluate performance in context and to connect observation with feedback and subsequent improvement. Evidence has nevertheless identified tensions between its formative and summative purposes, indicating that assessment systems must be deliberately designed to preserve their educational value.

The research synthesis further indicates that feedback is a central mechanism linking assessment with competence development. Feedback becomes educationally effective when it is timely, specific, actionable, credible, and connected to clearly defined standards. Generic statements such as “good performance” or “needs improvement” provide limited

developmental value unless accompanied by explicit descriptions of observed behavior, expected performance, and practical strategies for improvement. Contemporary assessment systems consequently increasingly emphasize feedback literacy among both learners and faculty. Learners must be capable of interpreting feedback, comparing current performance with standards, identifying performance gaps, and developing corrective learning strategies. Faculty members must be capable of delivering feedback that supports reflection rather than merely documenting deficiencies.

Another major finding concerns the increasing integration of digital health competencies into medical education. Digital transformation has altered not only the mechanisms through which students learn but also the competencies required for contemporary clinical practice. Physicians increasingly interact with electronic health records, clinical decision-support systems, telemedicine platforms, digital diagnostic technologies, health information systems, data analytics, remote monitoring technologies, and artificial intelligence-supported tools. Consequently, digital competence is becoming an integral dimension of professional competence rather than an optional technological skill.

An international consensus initiative involving 211 experts from 79 countries and territories identified 19 digital health competencies organized into four domains: professionalism in digital health, patient and population digital health, health information systems, and health data science. The framework illustrates the expanding conceptual boundaries of medical competence and the need to prepare graduates for healthcare systems in which clinical decisions increasingly intersect with data, information systems, digital communication, and computational technologies.

The World Health Organization's 2026 analysis of digital health competency frameworks similarly identifies common competency clusters involving patient care, data, informatics, communication, technical proficiency, digital professionalism, and administration. The report emphasizes that competency frameworks must be adapted to different educational and organizational contexts and supported by institutional and system-level enablers. These findings indicate that digital transformation cannot be accomplished simply by purchasing technological infrastructure. Sustainable digital education requires curriculum redesign, educator preparation, governance, interoperability awareness, ethical standards, data literacy, and institutional capacity.

Artificial intelligence constitutes one of the most consequential developments within this technological transformation. AI is increasingly used for personalized learning, question generation, automated feedback, clinical simulation, diagnostic reasoning exercises, text interpretation, educational content creation, assessment support, and curriculum development. Recent reviews demonstrate that AI has substantial potential to support medical education, but they also emphasize that empirical evidence remains heterogeneous and that many studies are limited by small samples, single-center designs, inconsistent outcome measures, insufficient theoretical grounding, and limited evaluation of long-term educational effects.

The evidence therefore supports a cautious interpretation of AI-enabled education. AI should not be conceptualized simply as an automated replacement for teachers or clinical educators. Its more defensible educational role involves augmentation of learning processes: generating practice opportunities, providing individualized explanations, supporting simulated clinical encounters, facilitating formative feedback, helping educators construct educational materials, and enabling learners to interrogate complex concepts. However, AI-generated content can contain inaccuracies, and recent evidence emphasizes the continuing importance of human oversight.

The emerging evidence base also suggests that AI effectiveness depends substantially on how it is pedagogically embedded. A systematic review of AI interventions in health professions education found considerable heterogeneity among studies and noted that many did not clearly specify learning objectives or competencies. This finding is critical because technological intervention without explicit educational purpose makes it difficult to determine whether observed improvements represent meaningful competence development or merely short-term performance changes.

More recent evidence through 2026 reinforces this uncertainty. A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials examining AI in undergraduate health professions education found heterogeneous effects across educational outcomes. For clinical skills, evidence for several major AI categories remained uncertain, with substantial heterogeneity and low or very low certainty for several comparisons. This indicates that AI should currently be understood as an evolving educational modality whose effectiveness varies by application, learner population, instructional design, and outcome measure rather than as a uniformly effective educational intervention.

The transformation of medical education consequently requires simultaneous attention to technological literacy and humanistic competence. The increasing availability of automated systems may create educational opportunities but also raises concerns about overreliance, reduced independent reasoning, misinformation, bias, privacy, academic integrity, and the erosion of interpersonal dimensions of healthcare. Contemporary curricula therefore need to develop the ability to use AI critically rather than merely the ability to operate AI tools. Students should be able to interrogate algorithmic outputs, recognize uncertainty, identify potential bias, verify information against authoritative evidence, protect patient confidentiality, and retain responsibility for clinical reasoning and professional judgment.

Another important finding is the growing significance of faculty development. Curricular transformation cannot occur solely through changes in course documents. Faculty members are the principal mediators between educational design and learner experience. New pedagogies, digital technologies, simulation environments, competency frameworks, and assessment systems require educators to possess corresponding pedagogical, technological, assessment, and supervisory capabilities. Recent reviews of educational technology identify faculty training as a persistent implementation challenge, while contemporary AI reviews similarly emphasize faculty development as a prerequisite for sustainable integration.

Faculty development must therefore move beyond occasional technical workshops. Educators need structured opportunities to develop competence in curriculum mapping, active learning facilitation, simulation debriefing, interprofessional teaching, digital pedagogy, assessment design, feedback, educational scholarship, AI literacy, and quality improvement. Faculty members must also be supported institutionally through protected educational time, recognition of teaching contributions, access to educational technology, technical support, and opportunities for scholarly collaboration. Without these conditions, educational innovation may remain dependent on individual enthusiasm and become difficult to sustain.

The evidence additionally highlights the importance of learner-centeredness and self-regulated learning. Contemporary students require increasing responsibility for identifying learning needs, accessing resources, monitoring progress, interpreting feedback, and developing professional identities. Digital platforms can facilitate this process through adaptive learning, asynchronous resources, electronic portfolios, learning analytics, and personalized feedback. However, greater learner autonomy should not be interpreted as reduced educational responsibility on the part of faculty. Effective learner-centered education combines autonomy

with scaffolding, mentorship, structured expectations, and progressive transfer of responsibility.

The development of clinical professional competence emerges as the ultimate integrating objective of these transformations. Medical education is not successful merely because students report satisfaction, obtain high examination scores, or demonstrate short-term knowledge gains. The central educational question concerns whether graduates can safely and effectively apply knowledge and skills in authentic clinical situations. This requires integration of cognition, technical performance, communication, professionalism, ethical reasoning, teamwork, and contextual judgment.

The evidence therefore supports longitudinal competence development rather than isolated educational episodes. Foundational sciences should progressively inform clinical reasoning; early clinical exposure should be connected to theoretical learning; simulation should prepare learners for authentic clinical environments; interprofessional experiences should reflect real healthcare teams; digital education should address real digital health competencies; and assessment should continuously capture developmental trajectories. Such longitudinal integration can reduce the traditional discontinuity between preclinical and clinical education.

Clinical competence also requires attention to patient-centeredness and humanistic practice. Technological transformation should not reduce medicine to computational decision-making. Communication, empathy, shared decision-making, cultural responsiveness, ethical reasoning, confidentiality, professionalism, and respect for patient autonomy remain essential dimensions of professional competence. Contemporary curriculum reform therefore involves a dual process: increasing technological and scientific sophistication while preserving the interpersonal and ethical foundations of clinical practice.

The evidence synthesis also identifies substantial contextual variation. Medical education reforms occur within different health systems, regulatory environments, economic conditions, institutional cultures, technological infrastructures, and sociocultural contexts. A curriculum developed in a highly resourced academic medical center cannot automatically be transferred unchanged to institutions with different infrastructure, faculty capacity, student populations, or clinical placement environments. Recent global frameworks consequently emphasize contextual adaptation rather than rigid universalization. WHO's digital health competency analysis specifically recognizes the importance of adaptation to national and institutional environments.

This contextual dimension is especially important for global medical education because technological inequality can amplify educational inequality. Institutions with advanced simulation centers, reliable high-speed connectivity, extensive digital libraries, and dedicated educational technology teams may have opportunities unavailable to institutions operating under resource constraints. Sustainable transformation therefore requires scalable educational technologies, open educational resources, faculty development networks, regional collaboration, and infrastructure investment. Recent systematic evidence identifies cost and infrastructure limitations as persistent barriers to technology adoption, demonstrating that innovation must be evaluated not only in terms of educational efficacy but also feasibility, accessibility, sustainability, and equity.

The evidence further demonstrates that educational transformation should be accompanied by stronger program evaluation. Institutions need mechanisms capable of determining whether curricular innovations achieve their intended outcomes. Evaluation should include learner knowledge, clinical skills, reasoning, communication, teamwork, professionalism, learner experience, faculty experience, implementation fidelity, resource requirements, progression,

and where feasible, downstream clinical outcomes. The current literature shows considerable inconsistency in reporting evaluation objectives, instruments, standards, and outcomes in competency-based programs, indicating a need for more transparent and methodologically rigorous evaluation frameworks.

A multidimensional evaluation model should consequently distinguish between immediate educational outcomes and longer-term professional outcomes. Immediate outcomes may include knowledge acquisition, confidence, motivation, engagement, and demonstrated skills. Intermediate outcomes may involve clinical reasoning, teamwork, communication, professional behavior, and performance during clinical placements. Longer-term outcomes may include preparedness for practice, professional development, quality of care, patient safety, and healthcare-system contribution. This distinction prevents institutions from interpreting short-term student satisfaction or examination performance as definitive evidence of educational effectiveness.

Another finding is the growing convergence between medical education, pharmacy education, dentistry, nursing, public health, data science, genomics, biotechnology, and other health-related disciplines. Recent reviews of medical and pharmacy education identify AI, VR/AR, digital technologies, interprofessional education, value-based care, population health, genomics, biotechnology, data science, chronic disease management, and human-AI collaboration as important contemporary directions. This convergence suggests that future curricula will increasingly require multidisciplinary knowledge architectures rather than strictly discipline-specific boundaries.

The implications for pharmacology and clinical pharmacology education are particularly significant. Modern pharmacological competence requires integration of molecular mechanisms, pharmacokinetics, pharmacodynamics, therapeutic guidelines, adverse drug reactions, pharmacovigilance, drug interactions, medication safety, pharmacogenomics, evidence appraisal, and patient-specific decision-making. Active case-based and simulation-based education can therefore connect pharmacological principles to therapeutic decision-making. Interprofessional learning can further integrate physicians, pharmacists, nurses, and other professionals around medication reconciliation, polypharmacy management, antimicrobial stewardship, adverse drug reaction prevention, and individualized pharmacotherapy. Digital tools and AI may support clinical reasoning exercises, but human verification and evidence-based decision-making remain essential.

The findings also support a redefinition of the role of the medical educator. The educator is increasingly becoming a facilitator of inquiry, designer of learning environments, assessor of competence, provider of feedback, mentor, educational researcher, and curator of trustworthy knowledge rather than exclusively a transmitter of information. This role requires stronger educational scholarship and continuous professional development. In parallel, students increasingly assume the role of active participants in knowledge construction and professional development rather than passive recipients of curricular content.

Overall, the evidence demonstrates that the transformation of contemporary medical education is best understood as a systems-level process involving mutually reinforcing dimensions. Pedagogical innovation expands active learning and authentic application; interprofessional education strengthens collaborative competence; technology expands access, simulation, personalization, and digital capability; competency-based curricular architectures align education with demonstrable professional outcomes; and contemporary assessment systems provide longitudinal evidence of developing competence. None of these components can function optimally in isolation.

The principal research finding is therefore that educational transformation is most coherent when curricular objectives, pedagogical strategies, technological resources, interprofessional experiences, clinical exposure, assessment systems, faculty development, and institutional governance are deliberately aligned. Evidence does not support the simplistic proposition that a particular technology, teaching method, or curriculum model is universally superior. Instead, the literature consistently points toward contextual alignment, explicit competencies, appropriate pedagogical matching, longitudinal assessment, feedback, faculty capability, and sustainable implementation as central determinants of educational value.

The emerging model of medical education is consequently characterized by integration rather than replacement. Traditional scientific foundations remain indispensable, but they are increasingly embedded within active, clinically contextualized, digitally enabled, collaborative, and competency-oriented educational structures. Technology complements rather than eliminates human teaching; simulation supplements rather than replaces authentic patient care; interprofessional learning extends rather than diminishes professional identity; and competency-based assessment supplements knowledge examinations with richer evidence of clinical performance. The transformation therefore represents a reconfiguration of educational relationships among knowledge, technology, learners, educators, clinical environments, professional teams, and patients.

Taken together, the evidence indicates that the future-oriented medical curriculum should be designed as a dynamic developmental continuum. It should progressively move learners from foundational understanding toward application, analysis, clinical reasoning, supervised performance, independent competence, reflective practice, and lifelong professional learning. Digital health and AI competencies should be integrated with clinical and ethical competencies; interprofessional education should be embedded within authentic healthcare problems; active pedagogies should be selected according to learning outcomes; and assessment should continuously document progression while generating actionable feedback.

The research and findings ultimately demonstrate that contemporary medical education is undergoing a transition from content transmission toward competence formation, from isolated disciplines toward curricular integration, from professional silos toward collaborative practice, from static resources toward digitally enriched learning ecosystems, and from episodic examination toward longitudinal evidence of professional development. The strength of this transformation lies not in technological novelty alone but in the deliberate integration of pedagogical science, clinical authenticity, interprofessional collaboration, digital competence, assessment validity, faculty capability, and patient-centered professional values. The continuing challenge for medical education institutions is therefore to convert these evidence-informed principles into sustainable curricular architectures that remain scientifically rigorous, clinically relevant, ethically grounded, technologically literate, globally adaptable, and responsive to the continuously changing requirements of healthcare delivery.

Transformation of Contemporary Medical Education

The evidence synthesis demonstrates that contemporary medical education is undergoing a systemic transition from predominantly content-oriented, discipline-segregated, teacher-centred educational structures toward competency-based, outcomes-oriented, learner-centred, clinically authentic, interdisciplinary, interprofessional, and technologically enabled educational ecosystems. This transformation does not represent the replacement of traditional medical knowledge with educational technology or innovative pedagogy. Rather, it constitutes a reconfiguration of the relationship among knowledge acquisition, clinical performance, professional identity, assessment, collaboration, digital competence, and lifelong learning.

A central finding of the present analysis is that educational transformation is most coherent when learning outcomes, instructional strategies, assessment methods, clinical experiences, and workforce requirements are deliberately aligned. WHO's Global Competency and Outcomes Framework for Universal Health Coverage conceptualizes health-worker competencies across people-centredness, decision-making, communication, collaboration, evidence-informed practice, and personal conduct, while explicitly linking competencies with curricula, learning activities, and assessment. This framework supports the interpretation that medical education should be organized around what graduates must ultimately be capable of doing in authentic professional environments rather than around the quantity of information delivered during instruction.

The resulting educational paradigm is therefore developmental rather than merely accumulative. Learners progressively move from foundational scientific understanding toward contextual application, supervised performance, increasing autonomy, reflective practice, and professional responsibility. Such progression is particularly important because competence cannot be established solely through exposure to curricular content. Knowledge must be integrated with practical skills, clinical reasoning, communication, ethical judgement, teamwork, and appropriate professional conduct.

Competency-Based Medical Education as a Structural Paradigm

The synthesis indicates that competency-based medical education provides a coherent conceptual architecture for contemporary curricular transformation. Its principal contribution is the reorientation of educational planning from inputs toward demonstrable outcomes. Instead of defining educational success primarily through instructional hours, course completion, or exposure to clinical rotations, competency-based systems emphasize observable capabilities that learners should progressively acquire and demonstrate.

This approach has important implications for curriculum construction. Competencies need to be operationalized into learning outcomes that are sufficiently explicit to guide teaching and assessment. Broad statements such as “understand pharmacology” or “know pathology” are insufficient when the educational objective is professional performance. More meaningful outcomes may involve interpreting pharmacological mechanisms, selecting appropriate therapy, anticipating adverse reactions, communicating medication risks, evaluating evidence, and adapting treatment to individual patient characteristics.

The evidence further indicates that competency-based education is strongest when it incorporates sequenced progression, authentic learning experiences, competency-focused instruction, and programmatic assessment. Contemporary WHO educational strategy explicitly describes competency-based education as learner-centred and outcomes-based, with competencies representing the ability to integrate and apply relevant knowledge, skills, and attitudes.

This finding has particular significance for medical universities because competency development is longitudinal. A student cannot reasonably be expected to demonstrate sophisticated clinical competence immediately after introductory instruction. Competencies must be introduced, reinforced, contextualized, assessed, remediated, and progressively advanced across the curriculum. The curriculum should therefore function as a developmental trajectory rather than a sequence of independent subjects.

Outcome-Oriented Curricular Architecture

A major result of the synthesis concerns the importance of constructive alignment. Outcome-oriented curricula require explicit correspondence among intended learning outcomes, educational activities, assessment, and clinical practice. When these components are disconnected, curriculum fragmentation emerges.

For example, a curriculum may formally emphasize clinical reasoning while relying primarily on examinations that reward factual recall. Similarly, a programme may emphasize interprofessional collaboration while providing almost all educational experiences within professional silos. A curriculum may claim to develop digital competence while treating digital health as an optional extracurricular activity. These inconsistencies create discrepancies between the intended, taught, learned, and assessed curricula.

Outcome-oriented curricular architecture addresses this problem by beginning with graduate competencies and subsequently determining the educational experiences necessary to develop them. Curriculum mapping can identify where each competency is introduced, reinforced, and assessed. Such mapping also helps identify unnecessary duplication, gaps in instruction, excessive content density, and inadequate opportunities for authentic performance.

The WHO Academy's competency-based approach similarly emphasizes defining outcomes from the beginning and constructively aligning learning and assessment activities with those outcomes. The implication is that curricular reform should not consist simply of adding new courses. Instead, institutions should reconsider the internal architecture of the entire programme.

Integration of Biomedical and Clinical Sciences

The evidence synthesis identifies integration between foundational sciences and clinical medicine as another major requirement of contemporary medical education. Traditional disciplinary organization has historically provided valuable depth, but excessive separation may prevent learners from recognizing how physiological, biochemical, pathological, pharmacological, anatomical, microbiological, and genetic mechanisms contribute to clinical phenomena.

Integrated curricula can reduce this conceptual separation. For example, cardiovascular education can simultaneously incorporate anatomy, physiology, pathology, pharmacology, diagnostic medicine, clinical reasoning, and preventive medicine. Similarly, infectious-disease education can integrate microbiology, immunology, pharmacology, epidemiology, infection prevention, antimicrobial stewardship, and clinical management.

Such integration is particularly important for developing mechanistic clinical reasoning. Students who understand why a clinical phenomenon occurs are better positioned to interpret unfamiliar cases than students who have memorized isolated associations. Integration therefore promotes transfer of learning, conceptual organization, and adaptability to novel clinical situations.

The same principle applies to pharmacology and pharmacotherapy. Contemporary prescribing requires integration of mechanisms of action, pharmacokinetics, pharmacodynamics, therapeutic indications, contraindications, adverse drug reactions, interactions, patient characteristics, monitoring requirements, and evidence-based treatment recommendations. Consequently, pharmacology education should progressively transition from drug-list memorization toward clinically contextualized therapeutic reasoning.

Pedagogical Innovation and Active Learning

The evidence indicates that pedagogical transformation increasingly involves movement from passive information reception toward active cognitive and experiential engagement. Problem-based learning, case-based learning, team-based learning, inquiry-based learning, simulation, peer learning, and reflective practice provide different mechanisms through which students can actively construct and apply knowledge.

Problem-based learning is particularly relevant to clinical reasoning because it places uncertainty and problem resolution at the centre of the educational process. Learners identify relevant information, formulate hypotheses, recognize knowledge deficiencies, seek evidence, and revise their interpretations. This resembles the iterative reasoning process encountered in clinical practice.

Case-based learning provides another bridge between theoretical knowledge and professional application. Well-designed cases can integrate symptoms, examination findings, laboratory investigations, imaging, pharmacotherapy, ethical questions, patient preferences, and healthcare-system considerations. The educational value of the case therefore derives not merely from its clinical realism but from its capacity to activate multiple competency domains simultaneously.

Team-based learning adds another dimension by requiring learners to negotiate interpretations and decisions collectively. This can strengthen accountability and expose learners to alternative reasoning pathways. However, successful implementation requires structured facilitation, clear objectives, appropriate group composition, meaningful accountability, and assessment alignment.

The synthesis therefore suggests that pedagogical innovation should be selected according to educational purpose rather than novelty. No single instructional method is universally optimal. Didactic teaching remains appropriate for selected knowledge-transfer objectives, while experiential, collaborative, and simulation-based approaches are particularly valuable for performance-oriented competencies.

Simulation-Based Education

Simulation emerged as an important mechanism for bridging theoretical knowledge and clinical performance. Simulation provides controlled environments in which learners can practise procedures, communication, clinical decision-making, emergency responses, prescribing, teamwork, and patient-safety behaviours before or alongside authentic clinical exposure.

The value of simulation extends beyond technical skill acquisition. High-quality simulation can reproduce uncertainty, time pressure, communication complexity, competing priorities, and team interactions. Debriefing subsequently provides an opportunity for learners to reconstruct their reasoning, examine decisions, identify errors, and develop corrective strategies.

Evidence from interdisciplinary simulation research supports its role in strengthening interprofessional learning. A 2024 systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials examined interdisciplinary simulation-based teaching and learning and highlighted its relevance for preparing healthcare professionals for collaboration in clinical settings.

Nevertheless, simulation should not be treated as an automatic substitute for authentic clinical experience. Its educational effectiveness depends on scenario design, facilitator competence, fidelity appropriate to the learning objective, learner preparation, debriefing quality, assessment

methodology, and transfer into clinical environments. Simulation should therefore function as one component of an integrated educational continuum.

Interprofessional Education and Collaborative Competence

The synthesis identifies interprofessional learning as a central response to the collaborative nature of modern healthcare. Contemporary patient management frequently involves physicians, nurses, pharmacists, laboratory specialists, physiotherapists, psychologists, nutrition professionals, social workers, public-health practitioners, and other professionals. Educational systems that prepare these groups entirely independently may inadequately reproduce the collaborative conditions of clinical practice.

Interprofessional education can address this structural mismatch by allowing students to develop understanding of professional roles, communication strategies, shared decision-making, leadership, conflict management, and collaborative responsibility. It can also challenge stereotypical perceptions of other professional groups and strengthen mutual respect.

Importantly, interprofessional education should not be reduced to placing different professions in the same classroom. Meaningful interprofessional learning requires shared educational objectives, collaborative tasks, role clarification, structured interaction, appropriate facilitation, and assessment of collaborative competencies.

The synthesis therefore supports the integration of interprofessional learning across the curriculum rather than limiting it to isolated workshops. Interprofessional case discussions, simulation, medication-safety exercises, clinical conferences, public-health projects, and patient-management activities can provide authentic contexts for collaborative learning.

Development of Clinical Reasoning

Clinical reasoning represents one of the most complex competencies in medical education because it requires integration of knowledge, pattern recognition, analytical reasoning, probability assessment, evidence appraisal, contextual interpretation, and decision-making under uncertainty.

Traditional factual examinations provide incomplete evidence of clinical reasoning. A learner may recall diagnostic criteria without being able to prioritize competing diagnoses or formulate an appropriate management plan. Contemporary curricula therefore require educational activities that explicitly develop reasoning processes.

Case-based learning, simulation, bedside teaching, structured oral examinations, clinical documentation exercises, and workplace-based assessment can provide opportunities to observe reasoning. Educators can further strengthen reasoning by asking learners to explain why particular findings are relevant, how diagnostic probabilities change, what alternative explanations exist, and why one therapeutic strategy is preferred over another.

The development of reasoning should also include recognition of cognitive biases. Anchoring, premature closure, confirmation bias, availability bias, and search satisficing may affect clinical decisions. Medical education should therefore cultivate metacognition and reflective reasoning, enabling learners to identify situations in which intuitive judgement may require deliberate analytical examination.

Assessment Transformation

Assessment represents one of the strongest determinants of educational behaviour. The evidence synthesis demonstrates that curricular transformation is incomplete when innovative teaching is introduced without corresponding assessment reform.

Contemporary competency development requires multiple assessment modalities because complex professional performance cannot be adequately represented by a single examination. Written assessments remain useful for evaluating knowledge and selected reasoning processes. OSCEs can assess practical skills and communication. Workplace-based assessments can capture authentic clinical performance. Portfolios can document longitudinal development. Simulation can assess integrated performance under controlled conditions. Structured feedback can support formative development.

Programmatic assessment provides a framework through which multiple assessment observations can be aggregated over time. This is particularly appropriate for competencies that develop gradually and cannot be reliably represented by one assessment event.

Assessment must also be aligned with the level of expected competence. Early learners may require assessment of foundational knowledge and basic skills, whereas advanced learners should increasingly be assessed on integrated performance, autonomy, prioritization, teamwork, and complex clinical decision-making.

The synthesis therefore identifies assessment architecture as an essential component of curricular architecture rather than an administrative endpoint.

Feedback and Reflective Practice

Feedback is another critical mechanism linking assessment to learning. Effective feedback identifies specific aspects of performance, compares them with defined standards, and provides actionable guidance for improvement.

The contemporary shift toward learner-centred education also changes the role of feedback. Learners should progressively become capable of interpreting performance information, identifying personal learning needs, and developing improvement strategies. This creates feedback literacy and supports self-regulated learning.

Reflective practice complements feedback by requiring learners to examine their actions, assumptions, reasoning, emotional responses, communication, and professional conduct. Reflection is particularly important in complex clinical environments where not every decision has a simple correct answer.

However, reflection should not become merely a documentation exercise. Its educational value depends on meaningful engagement, appropriate guidance, psychological safety, and connection with subsequent action. Reflection becomes professionally significant when it leads to modified behaviour or improved clinical reasoning.

Digital Transformation of Medical Education

Digital transformation constitutes one of the most significant findings of the contemporary educational landscape. Online learning, learning-management systems, virtual patients, electronic resources, mobile learning, tele-education, virtual and augmented reality, digital assessment, learning analytics, and artificial intelligence have expanded the range of educational modalities.

WHO's 2026 landscape analysis identifies recurring digital-health competency domains involving patient care, data and informatics, communication, technical proficiency, digital professionalism, and administration. This finding indicates that digital competence should not be interpreted simply as the ability to operate software. It encompasses professional use of digital technologies within clinical and organizational contexts.

Digital education can provide flexibility, scalability, repeated exposure, asynchronous learning, rapid access to updated information, and geographically distributed educational opportunities.

These characteristics are particularly valuable for continuing professional development and for learners located far from major academic centres.
However, WHO evidence also emphasizes that the effectiveness of digital education varies according to the learning objective, digital modality, context, instructional method, assessment strategy, learner population, and clinical specialty. Therefore, digitalization should be treated as a pedagogical design question rather than merely an infrastructure project.

Artificial Intelligence and Emerging Educational Technologies
Artificial intelligence introduces a new layer of educational transformation. Generative AI systems can assist with information synthesis, question generation, simulated patient conversations, feedback, language support, adaptive learning, and educational content development. Machine-learning systems can potentially identify patterns in learner performance and support personalized educational pathways.
Nevertheless, AI introduces substantial educational and ethical considerations. Generated information may be inaccurate, incomplete, outdated, biased, or insufficiently contextualized. Students may become excessively dependent upon automated systems, potentially weakening independent reasoning and information-verification skills. Academic integrity is also complicated when learners use generative systems to produce assessed work.
The educational response should therefore focus on AI literacy rather than technological prohibition alone. Learners need to understand model limitations, verification requirements, privacy considerations, bias, provenance, uncertainty, and appropriate human oversight. Digital professionalism should encompass responsible use of AI in educational and clinical contexts.
The 2026 WHO digital-health competency landscape reinforces the broader principle that technological transformation requires explicit competencies rather than passive exposure to digital tools.

Digital Equity and Accessibility
The synthesis also identifies digital inequity as a significant limitation of technology-enhanced education. Differences in internet connectivity, devices, institutional infrastructure, software access, digital literacy, language, disability accommodation, and socioeconomic circumstances can influence educational participation.
WHO has specifically identified the digital divide as a potential barrier to equitable access to digital health education and has emphasized the importance of rigorous evaluation, investment, collaboration, and context-sensitive implementation.
Accordingly, educational technology should be designed around accessibility. Mobile compatibility, offline functionality, downloadable resources, alternative formats, accessible interfaces, language adaptation, and appropriate technical support can reduce barriers. The objective should be digital inclusion rather than digital expansion alone.

Interdisciplinary Curriculum Integration
The synthesis indicates that interdisciplinary integration can strengthen the coherence of medical education. Complex clinical problems rarely conform to departmental boundaries. A patient with cardiovascular disease may simultaneously require knowledge of pharmacology, physiology, pathology, nutrition, psychology, epidemiology, rehabilitation, and health economics.

Curricular integration can therefore organize learning around clinical problems, organ systems, patient journeys, healthcare processes, or longitudinal themes. Such approaches can reduce unnecessary duplication while making scientific knowledge more clinically meaningful.
Interdisciplinary education also creates opportunities for students to recognize relationships between molecular mechanisms, clinical manifestations, population patterns, therapeutic interventions, and healthcare-system outcomes. This broader perspective supports systems thinking.

Professionalism and Professional Identity
Professional competence cannot be separated from professional identity. The synthesis demonstrates that contemporary medical education increasingly recognizes professionalism as an integrated domain involving ethical conduct, accountability, respect, integrity, confidentiality, communication, responsibility, and commitment to patient welfare.
Professional identity develops through explicit instruction but also through role modelling and institutional culture. Students observe how educators communicate with patients, respond to errors, interact with colleagues, handle uncertainty, and balance competing priorities. Consequently, the hidden curriculum may reinforce or undermine formal professionalism teaching.
Educational transformation should therefore address institutional culture as well as formal curriculum. Faculty development, transparent governance, respectful learning environments, appropriate supervision, and patient-centred institutional practices can contribute to professional identity formation.

Patient-Centred Education
Patient-centredness emerged as a fundamental competency rather than an optional educational philosophy. WHO's global competency framework explicitly identifies people-centredness as a major competency domain.
Patient-centred education requires learners to understand patients' perspectives, values, expectations, health literacy, social circumstances, cultural contexts, and preferences. Communication should therefore involve shared decision-making, explanation of uncertainty, risk communication, informed consent, and collaborative goal setting.
This approach also has implications for assessment. Communication should be observed and assessed rather than merely described in curriculum documents. Standardized patients, direct observation, case-based assessment, and workplace evaluation can provide evidence of patient-centred communication.

Evidence-Based Practice and Research Literacy
Another major finding concerns the increasing integration of evidence-based practice into medical education. The contemporary physician must be able to formulate clinical questions, identify relevant evidence, evaluate methodological quality, interpret statistical findings, recognize uncertainty, and integrate evidence with clinical expertise and patient preferences.
Research literacy also supports lifelong learning. Graduates who understand research methodology and critical appraisal are better positioned to update their knowledge as evidence evolves.
This is especially important in rapidly developing fields such as pharmacotherapy, precision medicine, genomics, digital therapeutics, and AI-supported healthcare. Curricula should

therefore integrate research methods throughout the programme rather than restricting scientific training to optional research projects.

Faculty Development as an Enabling Mechanism

Educational transformation cannot occur without faculty transformation. Faculty members must increasingly function not only as subject-matter experts but also as curriculum designers, facilitators, assessors, mentors, researchers, feedback providers, simulation educators, digital-learning practitioners, and educational scholars.

The synthesis identifies faculty development as a critical enabling mechanism. Institutions introducing competency-based education without developing faculty expertise may experience superficial implementation. Educators require understanding of competency frameworks, assessment validity, feedback, instructional design, digital tools, interprofessional facilitation, and educational evaluation.

Faculty development should consequently be continuous and institutionally supported. Recognition of educational scholarship within academic promotion structures may further encourage participation.

Clinical Learning Environment

The clinical learning environment is a decisive determinant of competence development. Students may acquire theoretical knowledge at university but require authentic clinical opportunities to integrate and apply that knowledge.

The quality of clinical learning depends upon supervision, patient diversity, workload, role expectations, educational culture, feedback, psychological safety, and opportunities for active participation. A well-designed curriculum can be undermined by clinical environments in which students are passive observers or receive inconsistent supervision.

Consequently, medical universities should treat affiliated clinical sites as integral components of the educational system. Academic and clinical institutions require shared expectations concerning learning outcomes, supervision, assessment, patient safety, and professional conduct.

Lifelong Learning and Continuing Competence

The evidence demonstrates that contemporary medical education must be conceptualized as a continuum extending from undergraduate education through postgraduate training and continuing professional development. Scientific knowledge, therapeutic options, digital technologies, clinical guidelines, and healthcare systems continuously evolve.

WHO's learning strategy explicitly identifies lifelong learning as essential for enabling health workers to adapt to new technologies, emerging diseases, and changing healthcare practices.

This finding has implications for undergraduate curriculum design. Students should not merely learn current knowledge; they should learn how to continue learning. Information retrieval, critical appraisal, reflection, self-assessment, peer learning, professional networks, and continuing education should therefore be embedded within initial medical training.

Health-System Alignment

A particularly important result is the need to align medical education with health-system requirements. Educational institutions cannot define graduate competencies independently of population health needs.

WHO' competency framework explicitly aims to align health-worker education with population health needs and health-system demands. The 2024 WHO framework for essential public-

health functions similarly links workforce competencies with the services and functions required within specific contexts.

This alignment requires collaboration among universities, healthcare providers, professional organizations, regulatory bodies, policymakers, patients, and communities. Curriculum development should therefore incorporate stakeholder perspectives rather than remain exclusively academic.

Globalization and Contextual Adaptation

The synthesis indicates that international educational frameworks can provide useful reference points but cannot be implemented identically across all settings. Medical education operates within distinct regulatory, cultural, epidemiological, socioeconomic, technological, and healthcare-system environments.

Global competency frameworks therefore require contextualization. The same competency may manifest differently in primary care, tertiary hospitals, community health, emergency medicine, or resource-limited settings. Similarly, digital educational strategies require adaptation according to infrastructure and connectivity.

The challenge is consequently to achieve international comparability without eliminating local relevance. Competency frameworks should provide common conceptual foundations while allowing institutions to adapt learning experiences and assessment to local needs.

Educational Quality, Governance, and Continuous Improvement

Educational transformation requires institutional governance capable of monitoring whether curricular reforms actually achieve intended outcomes. Quality assurance should include curriculum mapping, assessment review, student progression, graduate outcomes, clinical-learning environment evaluation, faculty development, stakeholder feedback, and educational research.

Continuous quality improvement is preferable to episodic curriculum revision. Healthcare and scientific knowledge evolve too rapidly for curricula to remain unchanged for prolonged periods. Institutions should therefore establish mechanisms for ongoing review and evidence-informed adaptation.

The WHO Academy's competency-based approach incorporates learning design, quality standards, quality improvement, assessment, evaluation of learning impact, and transfer to practice as interconnected elements of educational development.

Implementation Challenges

Despite substantial conceptual progress, implementation remains challenging. Common barriers include curriculum overcrowding, faculty workload, insufficient infrastructure, inadequate faculty development, resistance to organizational change, fragmented governance, inconsistent assessment, limited clinical-placement capacity, financial constraints, and technological inequity.

Curriculum overcrowding is particularly important. Every new competency or educational innovation competes for limited curricular time. The solution cannot simply be continual curricular expansion. Institutions must determine which knowledge is foundational, which skills require repeated practice, which content can be learned independently, and which concepts should be integrated across disciplines.

Resistance to change may also arise because educational reform affects established professional identities and institutional structures. Successful transformation therefore requires transparent

communication, stakeholder participation, leadership support, faculty engagement, and evidence demonstrating educational relevance.

The Relationship Between Innovation and Educational Evidence

The synthesis demonstrates that innovation itself should not be interpreted as evidence of effectiveness. New technologies and pedagogies may be attractive but can produce limited educational benefit when poorly aligned with learning objectives.

WHO's analysis of digital health education explicitly notes variability in evidence quality and generalizability and emphasizes that effectiveness depends on multiple contextual and methodological factors.

Educational innovation should therefore be evaluated through appropriate outcomes. These may include knowledge, skills, reasoning, attitudes, behaviour, clinical performance, collaboration, patient safety, professional practice, and—where evidence permits—patient or health-system outcomes.

Longitudinal evaluation is particularly important because immediate learner satisfaction does not necessarily demonstrate durable competence. Educational research should increasingly examine retention, transfer to clinical practice, professional performance, and sustainability.

Transformation of the Teacher's Role

The changing educational model also transforms the role of educators. The teacher is progressively moving from exclusive information provider toward facilitator, coach, mentor, assessor, role model, learning designer, and scholarly investigator.

This does not diminish the importance of expertise. Instead, expert knowledge becomes increasingly important in guiding learners through complex information environments. Educators help students distinguish foundational knowledge from transient information, evaluate evidence, reason through uncertainty, and connect theory with practice.

The most effective educational systems therefore combine technological resources with human expertise rather than treating them as competing alternatives.

Transformation of the Learner's Role

Correspondingly, learners are increasingly expected to become active participants in their professional development. Self-directed learning, reflective practice, collaborative learning, evidence appraisal, and personalized learning pathways require greater learner agency.

However, learner-centred education should not be confused with unstructured education. Competency-based programmes require explicit expectations, developmental sequencing, supervision, feedback, assessment, and progressive responsibility. Learner autonomy must therefore develop within an appropriately structured educational environment.

Patient Safety as an Educational Outcome

Patient safety provides a practical endpoint for many educational competencies. Clinical knowledge, technical skills, communication, teamwork, prescribing, infection prevention, diagnostic reasoning, and professionalism ultimately contribute to safer healthcare.

The WHO's 2024 infection-prevention and control curriculum, for example, explicitly links competency development with safe and effective care and emphasizes adaptable competency levels across healthcare roles.

Medical curricula should consequently integrate patient-safety principles across disciplines rather than treating safety as a separate course. Medication safety, diagnostic safety,

communication, infection prevention, procedural safety, and escalation of clinical concerns can all be incorporated into authentic learning activities.

Systems Thinking and Complexity

The synthesis further indicates that future medical professionals require systems thinking. Clinical outcomes are influenced not only by individual decisions but also by organizational structures, workflows, communication systems, policies, resource allocation, technology, social determinants, and broader health-system conditions.

Systems-oriented education can help learners understand how individual clinical actions interact with institutional and population-level processes. This is particularly important for public health, quality improvement, patient safety, antimicrobial resistance, health inequity, and emergency preparedness.

The WHO framework for essential public-health functions demonstrates the importance of linking workforce competencies to broader population and health-system functions.

Emerging Model of the Contemporary Medical Curriculum

Collectively, the evidence supports an emerging model in which the contemporary medical curriculum is characterized by five interconnected structural dimensions: competency orientation, pedagogical diversification, interprofessional integration, digital transformation, and authentic clinical performance.

Competency orientation defines what learners should ultimately achieve. Pedagogical diversification determines how learners acquire and practise those competencies. Interprofessional integration prepares learners for collaborative healthcare delivery. Digital transformation expands educational and clinical capabilities. Authentic clinical performance establishes whether learning can be transferred into professional practice.

These dimensions are mutually reinforcing. Digital simulation can support interprofessional learning; interprofessional case-based education can strengthen clinical reasoning; competency-based assessment can provide evidence of performance; and longitudinal clinical education can connect educational outcomes with professional practice.

Implications for Medical Universities

For medical universities, the findings imply that curriculum reform should be approached as institutional transformation rather than isolated course revision. Universities should establish explicit competency frameworks, map competencies across programmes, integrate basic and clinical sciences, diversify teaching methods, develop authentic assessment systems, strengthen clinical partnerships, and invest in faculty development.

Digital transformation should occur alongside infrastructure development, digital-health competency frameworks, data governance, accessibility measures, and faculty preparation. WHO's 2026 analysis emphasizes that digital-health competency frameworks are intended to support education, assessment, benchmarking, policy, accreditation, credentialing, and workforce development.

Implications for Students and Graduates

For learners, the transformed curriculum implies a broader conception of professional preparation. Graduates require more than biomedical knowledge. They must demonstrate clinical reasoning, communication, teamwork, ethical conduct, evidence-informed practice, digital competence, adaptability, and commitment to lifelong learning.

This expanded competency profile reflects the increasing complexity of healthcare. A physician who possesses extensive factual knowledge but cannot communicate effectively, collaborate with colleagues, interpret digital information, evaluate evidence, or recognize uncertainty may remain inadequately prepared for contemporary practice.

Implications for Educational Research

The evidence synthesis identifies several priorities for future educational research. Studies should increasingly examine longitudinal outcomes, transfer of learning, clinical performance, interprofessional competencies, digital-health competence, AI literacy, educational equity, faculty development, and implementation sustainability.

Research should also improve methodological rigor. Standardized outcome definitions, validated assessment instruments, transparent intervention descriptions, appropriate comparators, longitudinal follow-up, and contextual reporting would strengthen the comparability and generalizability of evidence.

The field would benefit from greater integration of quantitative and qualitative methodologies. Quantitative measures can document changes in performance, while qualitative research can explain how learners and educators experience educational transformation and why interventions succeed or fail within particular contexts.

The systematic analysis of contemporary literature reveals a substantial global transition in medical education from traditional, teacher-centered instructional models toward learner-centered, competency-based, and technology-enhanced approaches. This shift is driven by the increasing demand for healthcare professionals who are not only knowledgeable but also capable of applying clinical reasoning, demonstrating procedural competence, and adapting to rapidly evolving healthcare environments. The findings indicate that modern teaching and learning methodologies significantly enhance both cognitive and practical competencies, although their implementation remains heterogeneous across regions and institutions.

One of the most prominent findings is the effectiveness of active learning strategies, particularly problem-based learning (PBL) and case-based learning (CBL). These approaches consistently demonstrate improved student engagement, deeper understanding of complex medical concepts, and enhanced clinical reasoning skills. By presenting learners with real or simulated clinical scenarios, PBL and CBL foster analytical thinking and decision-making abilities that are critical for clinical practice. Students participating in these methods tend to exhibit greater autonomy in learning, improved retention of knowledge, and stronger integration of theoretical and practical concepts. However, the successful implementation of these approaches depends heavily on well-trained facilitators, appropriate case design, and adequate institutional support.

Simulation-based learning (SBL) has emerged as a highly effective modality for developing clinical and procedural skills. The use of high-fidelity simulators, standardized patients, and immersive technologies such as virtual reality (VR) and augmented reality (AR) enables learners to practice complex procedures in a risk-free environment. The findings suggest that simulation enhances psychomotor skills, clinical confidence, and patient safety outcomes. Furthermore, repeated exposure to simulated scenarios allows learners to refine their skills through deliberate practice and immediate feedback. Despite these advantages, simulation-based education requires substantial financial investment, technical infrastructure, and trained personnel, which may limit its widespread adoption, particularly in resource-constrained settings.

The integration of technology into medical education represents another critical dimension of modern pedagogical transformation. E-learning platforms, digital resources, and mobile applications have expanded access to educational content and facilitated flexible, self-directed

learning. The use of artificial intelligence (AI) in adaptive learning systems allows for personalized educational experiences tailored to individual learner needs. Additionally, online platforms and social media have become important tools for knowledge dissemination and professional collaboration. The findings indicate that technology-enhanced learning improves accessibility and engagement; however, challenges related to digital literacy, information quality, and equitable access persist. In some contexts, the digital divide continues to create disparities in educational opportunities, particularly between high-income and low- and middle-income regions.

Assessment methodologies in medical education have also undergone significant evolution, reflecting the shift toward competency-based frameworks. Workplace-based assessment (WPBA) tools, including Mini Clinical Evaluation Exercise (Mini-CEX), Direct Observation of Procedural Skills (DOPS), and Entrustable Professional Activities (EPAs), have gained widespread acceptance as effective means of evaluating real-world clinical performance. These tools emphasize continuous assessment, direct observation, and structured feedback, enabling learners to develop competencies progressively. The findings suggest that WPBA enhances the validity and relevance of assessments by aligning evaluation with actual clinical practice. However, concerns remain regarding inter-rater reliability, standardization, and the time burden placed on clinical supervisors.

Objective Structured Clinical Examinations (OSCEs) and Objective Structured Practical Examinations (OSPEs) continue to play a central role in assessing clinical and technical skills in a controlled environment. These structured assessments provide objective and standardized evaluation of a wide range of competencies, including communication, clinical reasoning, and procedural skills. The evidence indicates that OSCEs and OSPEs contribute to improved assessment reliability and fairness. Nevertheless, their implementation requires significant logistical planning, trained examiners, and standardized scenarios, which can pose challenges for institutions with limited resources.

The findings also highlight the growing importance of collaborative and peer-assisted learning approaches. Peer-assisted learning (PAL) has been shown to enhance knowledge acquisition, communication skills, and professional development for both learners and peer tutors. Collaborative learning environments encourage teamwork, shared responsibility, and the exchange of diverse perspectives, which are essential competencies in interdisciplinary healthcare settings. These approaches not only improve academic performance but also foster a culture of mutual support and continuous learning. However, the effectiveness of peer-assisted learning depends on appropriate structuring, supervision, and alignment with learning objectives.

The flipped classroom model represents another significant innovation, emphasizing the redistribution of instructional time to maximize active learning. By delivering theoretical content outside the classroom and dedicating in-class time to problem-solving and interactive activities, this approach promotes deeper understanding and application of knowledge. The findings suggest that flipped classrooms improve student engagement, critical thinking, and satisfaction with the learning process. However, their success relies on student preparedness, access to digital resources, and the ability of educators to facilitate active learning effectively.

Evidence-based medicine (EBM) has become a cornerstone of modern medical education, promoting the integration of scientific research into clinical decision-making. The incorporation of EBM principles into curricula enhances students' ability to critically appraise literature, apply research findings, and make informed clinical decisions. This approach fosters a culture of lifelong learning and continuous professional development. The findings indicate that early

exposure to EBM significantly improves analytical skills and clinical competence, although challenges related to teaching methodology and student engagement remain.

The findings demonstrate a significant global shift toward learner-centered and competency-based educational models. Approaches such as problem-based learning, case-based learning, and simulation-based education have shown substantial effectiveness in enhancing clinical reasoning, practical skills, and long-term knowledge retention. Workplace-based assessments, including Mini-CEX, DOPS, and Entrustable Professional Activities (EPAs), provide robust frameworks for evaluating real-world clinical competence. Additionally, technological integration—through virtual and augmented reality, e-learning platforms, and artificial intelligence—has expanded access to education and facilitated immersive, flexible learning environments. Collaborative learning strategies, peer-assisted learning, and interdisciplinary education further contribute to the development of communication, teamwork, and professional skills. However, significant disparities in implementation persist, influenced by institutional resources, faculty readiness, technological infrastructure, and sociocultural factors.

Observational learning involves acquiring knowledge through demonstration, a crucial aspect in healthcare where ensuring patient safety is fundamental. The development of motor skills is a fundamental part of medical proficiency and must be taught and refined with great precision. Many medical tasks are considered open-ended skills that require physicians to adapt to unpredictable and constantly changing situations (e.g., tracheal intubation and surgical suturing). The process behind this learning method is rooted in the mirror neuron system of the premotor cortex, which plays a role in imitating actions observed in others. Observational learning depends on the active involvement of the motor system and requires the implicit involvement of the observer for effective learning. In addition, immediate feedback is believed to be effective not only during hands-on practice but also during observation. There is evidence that combining observational learning with physical exercise may be more beneficial than relying on physical exercise alone. Observational techniques are essential for mastering complex medical procedures and promoting learning and skill development through practice-based observation. Practicing motor skills is essential for improving performance in medical procedures, and understanding the mechanisms underlying these movements plays an important role in refining training programs. The approaches achieved using this method promote adaptability, optimize motivation, and improve cognitive processing. In addition, skill acquisition is accelerated through visual-spatial representation, creating vivid mental images in working memory.

Assessment of Entrustable Professional Activities (EPAs): Assessment of EPAs is based on direct observation of the learner performing the activity. Supervisors use standardized checklists or rubrics to evaluate performance and determine the level of supervision required. Feedback is a key component, helping learners understand their strengths and areas for improvement.

Benefits of Entrustable Professional Activities (EPAs): Competency-Based: EPAs ensure that learners are assessed based on their ability to perform real-world tasks, making the training process more relevant to professional practice; Clear Progression: The entrustment model provides a clear, structured path for learners as they develop their skills, from needing close supervision to independent practice; Practical Application: EPAs focus on practical tasks that professionals need to master, bridging the gap between theoretical learning and practical, clinical application. Personalized Learning: Learners receive personalized feedback based on their performance, allowing them to focus on areas that need further development; Patient Safety: The entrustment process ensures that learners are only entrusted with tasks when they

have demonstrated sufficient competence, helping to ensure patient safety. Commonly Used In: Medical and healthcare education (e.g., residency and fellowship programs); Nursing education (e.g., entrusting nurses with independent patient care responsibilities); Allied health professions (e.g., physical therapists, pharmacists, and other clinical roles).

The Mini-CEX (Mini Clinical Evaluation Exercise) is a structured, workplace-based assessment tool used in medical education to evaluate a learner's clinical skills in real-time clinical practice. It involves direct observation of a trainee during a brief patient encounter, followed by immediate feedback from an experienced clinician or supervisor. The Mini-CEX is designed to assess a variety of clinical competencies, such as patient interaction, communication, clinical reasoning, and professionalism, in a real-world context.

Key Features of (Mini Clinical Evaluation Exercise) Mini-CEX:

- Direct Observation: A supervisor observes the trainee during a short clinical encounter with a real patient (usually lasting around 10-20 minutes). The encounter may involve history-taking, physical examination, diagnosis, patient counseling, or treatment planning.
- Broad Skill Assessment: The Mini-CEX allows for the assessment of multiple clinical skills, such as: History-taking: Gathering and interpreting patient history; Physical examination: Performing a focused and effective clinical examination; Clinical reasoning: Formulating a differential diagnosis and treatment plan; Communication: Interacting with patients, explaining diagnoses, and delivering clear instructions; Professionalism: Demonstrating empathy, respect, and ethical behavior; Organizational skills: Managing time effectively and ensuring smooth patient flow.
- Immediate Feedback: After the encounter, the supervisor provides immediate, structured feedback to the learner, highlighting strengths and areas for improvement. This formative feedback is essential for guiding the trainee's development.
- Short and Focused: The Mini-CEX is brief and focused on specific competencies or elements of patient care, allowing for multiple assessments across a range of clinical scenarios over time.
- Formative and Summative Use: Although primarily formative (focused on improving skills through feedback), the Mini-CEX can also be used summative to contribute to formal evaluations of a trainee's competency at various stages of their education.
- Standardized Evaluation: The supervisor completes a structured evaluation form, rating the learner's performance across several domains on a numerical scale (e.g., 1-9), where higher scores reflect greater competence. Commonly assessed domains include clinical judgment, communication skills, organization, and professionalism.
- Frequent and Flexible: Mini-CEX assessments can be repeated frequently during clinical rotations to capture the learner's development over time. It is flexible, allowing assessments to take place in various clinical settings (inpatient, outpatient, emergency, etc.) and across different types of patient cases.

Steps in (Mini Clinical Evaluation Exercise) Mini-CEX:

- Case Selection: A real patient case is chosen for the learner to engage with, either as part of routine clinical practice or specifically for the assessment.
- Observation: The supervisor observes the learner interacting with the patient, performing tasks such as history-taking, physical examination, or patient counseling.
- Assessment: After the encounter, the supervisor completes the Mini-CEX evaluation form, rating the learner in various skill areas. The ratings are typically on a scale (e.g., 1-9), with higher scores indicating greater competency.

- Feedback: The supervisor provides immediate feedback, discussing the learner's performance, strengths, and areas for improvement. Feedback is specific, constructive, and designed to help the learner grow in their clinical skills.
- Reflection and Action Plan: The learner reflects on the feedback and, with the help of the supervisor, develops an action plan for further improvement. This may include targeted practice or additional study in certain areas.

Domains Commonly Assessed in (Mini Clinical Evaluation Exercise) Mini-CEX:

- History-taking: Ability to gather relevant patient information.
- Physical examination: Skill in conducting a focused, effective exam.
- Clinical judgment: Diagnostic reasoning, decision-making, and treatment planning.
- Communication skills: Clarity and empathy in interacting with patients and their families.
- Professionalism: Ethical behavior, respect, and rapport-building with patients.
- Time management: Efficient use of time and organization in patient care.

Benefits of (Mini Clinical Evaluation Exercise) Mini-CEX:

- Real-Time Assessment: Direct observation in a real clinical setting ensures that learners are evaluated on their actual performance, not just theoretical knowledge.
- Personalized Feedback: Immediate, targeted feedback helps trainees focus on specific areas for improvement.
- Frequent and Flexible: Multiple, brief assessments over time allow for tracking of progress and improvement.
- Broad Assessment of Skills: Mini-CEX covers a wide range of essential clinical competencies, ensuring comprehensive evaluation.
- Learner Development: The focus on formative feedback encourages continuous learning and development.

Mini Clinical Evaluation Exercise Commonly Used In: Medical education: Particularly during clinical rotations for medical students, interns, and residents; Nursing education: To assess practical nursing skills in clinical settings. Allied health education: For clinical professions such as physiotherapy, dentistry, and pharmacy. The Mini-CEX is a valuable tool for assessing and improving clinical performance, helping learners develop the skills necessary for competent, patient-centered care.

The Objective Structured Clinical Examination (OSCE) is a widely used assessment method in medical, nursing, and allied health education to evaluate a learner's clinical competence in a structured and standardized way. The OSCE assesses a range of clinical skills, including history-taking, physical examination, clinical reasoning, communication, and professionalism, in a controlled, simulated clinical environment.

Key Features of Objective Structured Clinical Examination (OSCE):

- Structured Stations: The OSCE consists of multiple stations (typically 10–20), each focusing on a different clinical task or scenario. Each station is designed to assess specific skills, such as diagnosing a patient, performing a physical exam, interpreting test results, or counseling a patient.
- Standardized Patients: Many OSCEs use trained actors or simulated patients to portray clinical scenarios, ensuring standardization. These standardized patients follow a script, making the assessment consistent for all learners.

- Time-Limited: Each station is time-limited, typically lasting 5 to 10 minutes, and learners must complete the task within that time frame. This tests not only clinical competence but also time management and the ability to think on one's feet.
- Objective Scoring: Each station has clear objectives and a standardized checklist or rubric that the examiner uses to evaluate the learner's performance. The scoring system ensures that the assessment is objective and minimizes bias. Skills such as technical proficiency, communication, and clinical reasoning are scored based on the checklist.
- Simulated Real-Life Scenarios: The stations are designed to reflect realistic clinical challenges that healthcare professionals face in practice. This allows learners to demonstrate how they apply theoretical knowledge in practical, patient-centered situations.
- Holistic Assessment: The Objective Structured Clinical Examination (OSCE) assesses a broad range of skills, including: Clinical knowledge: The ability to diagnose and manage clinical conditions; Technical skills: Proficiency in performing specific procedures (e.g., suturing, administering injections); Communication: Effective interaction with patients, explaining diagnoses, and delivering treatment plans; Professionalism: Demonstrating empathy, ethical conduct, and respect for patients; Clinical reasoning: Formulating differential diagnoses and decision-making based on clinical data.
- Formative and Summative Use: Objective Structured Clinical Examination (OSCEs) can be used for both formative (developmental) and summative (final) assessments. Formative OSCEs help learners identify areas for improvement, while summative OSCEs evaluate competence at the end of a course or training program.

Objective Structured Clinical Examination (OSCE) Format: Pre-Set Stations: Learners rotate through a series of stations, each with a different task. Tasks may include history-taking, performing a physical examination, counseling a patient, interpreting diagnostic tests, or demonstrating technical procedures; Simulated Clinical Scenarios: Each station simulates a specific scenario, such as diagnosing a patient with chest pain, performing a neurological exam, or counseling a patient on smoking cessation; Checklists and Rubrics: Each station has an examiner (usually a clinician or educator) who observes the learner's performance and scores them based on a structured checklist. These checklists outline specific actions or steps the learner must perform to demonstrate competence; Immediate Feedback: In some OSCEs, particularly formative ones, learners receive immediate feedback after completing each station. This feedback helps them understand their strengths and areas for improvement.

Commonly Assessed Skills in Objective Structured Clinical Examination (OSCE):

- History-taking: Gathering relevant information from the patient about their symptoms and medical history.
- Physical examination: Performing appropriate clinical exams based on the patient's presenting symptoms.
- Diagnosis and treatment planning: Developing a differential diagnosis and formulating a management plan.
- Communication: Effectively explaining diagnoses, treatment options, and procedures to patients in an understandable and empathetic manner.
- Procedural skills: Demonstrating technical skills like suturing, inserting IVs, or performing CPR.
- Ethics and professionalism: Showing respect, empathy, and appropriate professional behavior during patient interactions.

Benefits of Objective Structured Clinical Examination (OSCE): Standardized Assessment: The structured format and standardized patients ensure that all learners are assessed in a consistent,

objective way; Comprehensive Skill Evaluation: OSCEs assess not only knowledge but also practical, technical, and interpersonal skills, giving a holistic view of a learner's clinical competence; Realistic Scenarios: Simulating real-world clinical tasks helps prepare learners for actual clinical practice; Immediate Feedback and Reflection: In some OSCEs, learners receive immediate feedback, which promotes reflection and targeted learning.

Objective Structured Clinical Examination Commonly Used In: Medical education: OSCEs are often used in medical schools, residency programs, and for board certification exams; Nursing education: Nursing students are assessed on practical skills, such as patient care and clinical decision-making; Allied health professions: OSCEs are also used in other healthcare fields like dentistry, pharmacy, physiotherapy, and paramedicine.

Objective Structured Clinical Examination (OSCE) Strengths: Objectivity: The use of checklists and standardized patients ensures objective, unbiased assessment; Practical focus: The OSCE assesses the application of knowledge in real-life scenarios, ensuring learners are practice-ready; Flexible: OSCEs can be adapted to assess a wide variety of clinical skills across different disciplines; The Objective Structured Clinical Examination (OSCE) is a powerful tool in healthcare education, as it effectively evaluates not just what learners know, but how well they can apply their knowledge and skills in real-world clinical situations.

The Objectively Structured Practical Exam (OSPE) is an assessment tool similar to the OSCE but is primarily used in laboratory-based, practical, or pre-clinical subjects, particularly in medical, dental, pharmacy, and allied health education. While OSCE focuses on clinical skills in patient care, the OSPE is designed to evaluate technical and practical skills in a more controlled, often laboratory-like environment.

Key Features of Objective Structured Clinical Examination (OSPE):

- Multiple Stations: Like the OSCE, the OSPE consists of a series of timed stations (usually 5-15 stations). Each station is designed to test a specific skill or set of skills in a practical setting, such as identifying anatomical structures, performing a laboratory experiment, or interpreting medical data.
- Objective and Structured: Each station is highly structured with a clear set of tasks or problems that the learner must complete. A standardized checklist or rubric is used to ensure objective assessment, reducing subjectivity and bias.
- Hands-On Skills: The focus of the OSPE is on assessing practical, technical skills, often in a laboratory or simulated clinical setting. These skills could include: Specimen identification (e.g., identifying anatomical specimens or cells under a microscope); Measurement tasks (e.g., blood pressure, or spirometry); Instrument handling (e.g., proper use of a centrifuge or microscope); Data interpretation (e.g., analyzing lab results or physiological readings); Procedure demonstrations (e.g., suturing on a model, IV insertion on a mannequin).
- Non-Clinical Focus: Objective Structured Clinical Examination (OSPEs) are generally used for evaluating pre-clinical or non-patient care skills, such as laboratory techniques, anatomy, physiology, pharmacology, or biochemistry, in contrast to OSCEs, which focus more on patient interaction and clinical care.
- Rotation through Stations: Learners rotate through different stations, each focused on a specific task. Some stations may involve hands-on procedures, while others may require the interpretation of data or answering questions about a practical task. Each station typically lasts around 5–10 minutes.
- Checklist-Based Evaluation: Examiners use a predefined checklist at each station to assess the learner's performance objectively. The checklist typically includes specific actions or outcomes that the learner must demonstrate to score points.

➢ No Patient Interaction: Unlike the OSCE, which often involves direct interaction with standardized patients or actors, the OSPE is more focused on technical and laboratory skills. However, some stations may include theoretical questions or decision-making based on practical tasks.

OSPE Format:

✓ Pre-Set Stations: Learners are presented with different tasks at each station. These tasks may include performing a laboratory technique, identifying anatomical features, or analyzing experimental data.

✓ Rotation: Learners rotate through the stations in a timed manner. The format allows for the assessment of a broad range of practical skills in a relatively short period.

✓ Assessment: At each station, the learner's performance is evaluated using a standardized checklist or rating scale. The assessment may include: Correctness of procedures; Accuracy of data interpretation; Proper use of instruments or equipment; Ability to identify anatomical structures or lab specimens; Time management and efficiency in completing the tasks.

✓ Immediate Feedback: While not always standard, some OSPEs may include formative feedback after completion, helping learners understand areas for improvement.

Domains Commonly Assessed in Objective Structured Clinical Examination (OSPE):

✓ Practical skills: Performing technical procedures in a lab environment (e.g., preparing slides, using diagnostic tools, dissection, etc.).

✓ Instrument handling: Proper and safe use of laboratory or clinical instruments (e.g., microscope, sphygmomanometer).

✓ Knowledge application: Applying theoretical knowledge to practical tasks, such as interpreting lab results or understanding physiological data.

✓ Problem-solving and decision-making: Ability to solve practical problems and make informed decisions during hands-on tasks.

✓ Time management: Completing tasks efficiently within the time allocated at each station.

Benefits of Objective Structured Clinical Examination (OSPE): Objective Assessment: The use of standardized checklists makes the assessment objective, reducing examiner bias; Wide Range of Skills: The OSPE can assess a broad range of technical and practical skills, from basic lab techniques to more complex decision-making tasks; Hands-On Focus: The exam emphasizes practical, hands-on experience, ensuring that learners are competent in technical procedures required for their field; Controlled Environment: The practical, non-clinical setting allows for a more controlled and focused assessment of technical skills; Fair and Standardized: Since all learners perform the same tasks under the same conditions, the OSPE ensures fairness and consistency in assessment.

Differences Between OSPE and OSCE: Focus: OSPE is focused on assessing technical and practical skills in pre-clinical settings, such as laboratories or simulation environments, while OSCE evaluates clinical skills such as patient interaction and communication; Setting: OSPE is typically conducted in labs or controlled environments without patient interaction, whereas OSCEs often involve real or standardized patients; Skills Assessed: OSPE assesses skills like instrument use, data interpretation, and technical procedures, while OSCE evaluates broader clinical skills like history-taking, diagnosis, and patient counseling.

Objective Structured Clinical Examination (OSPE) Commonly Used In: Medical education: Particularly in pre-clinical subjects like anatomy, physiology, biochemistry, and pharmacology; Nursing education: To assess nursing skills such as specimen collection, medication administration, or monitoring vital signs; Allied health education: For fields like dentistry,

pharmacy, and laboratory sciences, where technical proficiency is critical; The OSPE is a versatile and valuable tool in healthcare education for assessing practical skills in a standardized, objective way, ensuring learners are well-prepared for their technical responsibilities in clinical practice.

Workplace-Based Assessment (WPBA) refers to a range of assessment methods used to evaluate a learner's performance and competence in the actual workplace or clinical environment. Unlike traditional exams, which assess knowledge in a theoretical setting, WPBA assesses how a learner applies their knowledge and skills in real-time practice, making it an important tool in competency-based education, especially in healthcare and other professional fields.

Key Features of Workplace-Based Assessment (WPBA):

➢ Real-World Setting: WPBA occurs in the workplace, meaning the learner is assessed during their routine duties or tasks in a clinical, laboratory, or professional environment. This allows for the evaluation of practical, hands-on skills.

➢ Continuous Assessment: WPBA is typically conducted over a period of time, allowing for the observation and assessment of a learner's performance across various tasks and situations. This provides a more comprehensive and realistic understanding of their abilities.

➢ Formative and Summative Use: WPBA can be used both for formative purposes (providing feedback to support development) and summative purposes (assessing overall competency for certification or advancement).

➢ Multisource Feedback: In WPBA, feedback may come from a variety of sources, including supervisors, peers, patients, and even the learners themselves (through self-assessment). This allows for a 360-degree view of the learner’s performance.

➢ Competency-Based: WPBA is aligned with specific competencies required for professional practice. These competencies can include clinical reasoning, technical skills, communication, professionalism, and teamwork.

➢ Direct Observation: Learners are observed directly by supervisors or colleagues while performing their regular duties. The assessment is based on real-time observation rather than simulated tasks.

Common Workplace-Based Assessment (WPBA) Methods:

❖ Mini-CEX (Mini Clinical Evaluation Exercise):

✓ A short, structured observation of a clinical encounter between a learner and a patient.

✓ Evaluates history-taking, physical examination, clinical reasoning, and communication.

✓ Immediate feedback is provided to the learner.

❖ DOPS (Direct Observation of Procedural Skills):

✓ Focuses on the observation of the learner performing specific clinical procedures.

✓ Assesses technical skills, patient safety, and procedural competence.

✓ Feedback is given immediately after the procedure.

❖ CBD (Case-Based Discussion):

✓ An in-depth discussion between the learner and a supervisor about a real patient case.

✓ Evaluates clinical reasoning, decision-making, and knowledge application.

✓ Allows the learner to reflect on their thought process and learn from the feedback.

❖ Multisource Feedback (MSF):

✓ Also known as 360-degree feedback, it gathers assessments from multiple individuals who interact with the learner, including colleagues, patients, and supervisors.

✓ Evaluates teamwork, communication, professionalism, and interpersonal skills.

❖ Portfolio:

✓ A collection of evidence gathered over time, including reflective writing, case logs, and documented feedback from supervisors.
✓ Allows for assessment of learning progress and personal development over a period.
❖ Patient Satisfaction Surveys:
✓ Involves gathering feedback from patients regarding the learner's interaction, communication, and professionalism during consultations or procedures.
❖ Entrustable Professional Activities (EPAs):
✓ Assesses whether a learner can be entrusted to perform specific professional tasks independently.
✓ Directly evaluates practical competence in real-world tasks.

Domains Assessed by WPBA:

✓ Clinical competence: Clinical reasoning, diagnosis, treatment planning, and procedural skills.
✓ Professionalism: Ethical behavior, responsibility, and respect for patients and colleagues.
✓ Communication skills: Interpersonal interactions with patients, families, and healthcare teams.
✓ Teamwork: Collaboration with peers and other healthcare professionals.
✓ Time management and organizational skills: Efficiently managing tasks and prioritizing patient care.
✓ Patient-centered care: Demonstrating empathy, respect, and understanding of patient needs and preferences.

Benefits of Workplace-Based Assessment (WPBA):

✓ Real-World Relevance: Since WPBA is conducted in actual workplace settings, it offers a more accurate assessment of a learner's readiness for professional practice than theoretical or simulation-based assessments.
✓ Holistic Assessment: WPBA evaluates a range of competencies, including clinical, interpersonal, and professional skills, providing a comprehensive view of the learner's abilities.
✓ Personalized Feedback: WPBA includes regular, personalized feedback that helps learners identify areas for improvement and track their progress over time.
✓ Encourages Reflection: Many WPBA methods, such as case-based discussions and portfolios, encourage self-assessment and reflection, helping learners develop critical thinking and lifelong learning skills.
✓ Supports Professional Development: By identifying strengths and weaknesses, WPBA helps learners create targeted learning plans to develop the skills they need for future practice.
✓ Flexible: WPBA can be adapted to different specialties, professional roles, and clinical settings, making it a versatile assessment method.

Challenges of Workplace-Based Assessment (WPBA):

➢ Consistency: Since WPBA is conducted in real-world settings, variability in patient cases, work environments, and assessors can affect the consistency of the assessment.
➢ Time-Intensive: Supervisors need to invest time in observing, assessing, and providing feedback, which can be a challenge in busy clinical settings.
➢ Subjectivity: Although WPBA uses structured checklists, there is still some subjectivity in the evaluation process, especially in areas like communication and professionalism.

Commonly Used In:

➢ Medical education: For assessing students, interns, and residents in clinical settings.
➢ Nursing education: To evaluate clinical competence and practical nursing skills.

➢ Allied health professions: Used in fields like physiotherapy, pharmacy, and radiography to assess professional skills.
➢ Other professional fields: WPBA is also used in professions such as law and education, where practical skills and professional behaviors are essential.

Workplace-Based Assessment (WPBA) is a powerful tool for evaluating learners' real-world performance in professional settings. By focusing on practical skills and providing continuous feedback, WPBA ensures that learners are competent and ready for independent practice, making it an essential part of competency-based education and professional development.

The flipped classroom is an instructional approach that reverses the traditional teaching model. In a flipped classroom, students first engage with new content outside of class, typically through video lectures, readings, or other digital resources, and then use class time for interactive, hands-on activities, problem-solving, or discussions with peers and instructors.

Key Features of the Flipped Classroom Model:

❖ Pre-Class Learning:
➢ Content Delivery: New material is introduced outside the classroom. This might involve watching pre-recorded video lectures, reading articles, reviewing case studies, or completing interactive online modules.
➢ Self-Paced: Students can go through the material at their own pace, pausing and rewatching sections if needed, which accommodates different learning styles and speeds.
❖ In-Class Application:
➢ Active Learning: Classroom time is devoted to applying the knowledge gained through pre-class materials. Activities might include group discussions, problem-solving exercises, collaborative projects, debates, or lab work.
➢ Instructor Facilitation: Instead of delivering a lecture, the teacher acts as a facilitator or coach, guiding students as they work through problems or engage in discussions, addressing misconceptions, and providing individualized support.
❖ Student-Centered Learning:
✓ The flipped classroom emphasizes active participation and engagement from students. Since they have already encountered the content outside of class, they are expected to come prepared to engage deeply with the material during class time.
✓ This approach shifts the focus from passive learning (listening to a lecture) to active learning, where students take ownership of their learning process.

Benefits of the Flipped Classroom:

➢ Deeper Understanding: By using class time for interactive and problem-solving activities, students can develop a deeper understanding of the material through practice and discussion rather than just memorization.
➢ Increased Engagement: The flipped classroom model promotes active participation and interaction with peers and instructors, which can increase student engagement and motivation to learn.
➢ Personalized Learning: Instructors have more time during class to provide individualized help to students, addressing specific questions or challenges, and supporting students at different levels of understanding.
➢ Flexible Learning Pace: Since students can access pre-class materials at their own pace, those who need more time to grasp complex concepts can revisit the content, while faster learners can move ahead.

- Better Use of Class Time: Instead of spending valuable class time delivering content, instructors can focus on higher-order learning activities like applying, analyzing, and evaluating information.
- Improved Collaboration: In-class activities often involve collaboration and teamwork, helping students develop important communication and teamwork skills while learning from their peers.

Challenges of the Flipped Classroom:

- Preparation Time: Creating high-quality pre-class materials, such as video lectures or interactive resources, can be time-consuming for instructors.
- Student Accountability: Success in a flipped classroom relies on students coming to class prepared. If students don't engage with the pre-class materials, they may struggle during in-class activities.
- Access to Technology: Students need reliable access to technology (such as computers, internet access, or multimedia tools) to complete pre-class assignments, which can be a barrier for some learners.
- Adaptation: Both students and teachers may need time to adjust to the flipped model, especially if they are used to traditional lectures. Some students might prefer face-to-face lectures, and teachers need to be comfortable with facilitating active learning sessions.

Flipped Classroom in Healthcare and Professional Education:

In medical and professional education, the flipped classroom has gained popularity as a method for enhancing clinical training and hands-on learning:

- Pre-Class Work: Learners might review video lectures on clinical cases, medical procedures, or theoretical content before class.
- In-Class Application: Classroom time can then be dedicated to applying the material through case-based discussions, simulation exercises, or role-playing scenarios, helping learners practice decision-making and problem-solving in real-world contexts.

The flipped classroom is an innovative teaching model that shifts the focus from passive lecture-based learning to active, student-centered engagement. By delivering content outside of class and using class time for deeper application, the flipped classroom helps learners develop critical thinking, collaboration, and problem-solving skills while fostering a more personalized learning experience.

The flipped classroom is a modern, transformative learning strategy that integrates blended learning with digital or physical learning resources outside of the traditional classroom. Students receive pre-recorded lessons as preparatory assignments, shifting the focus from teacher-led learning to self-directed learning. Classroom activities focus on collaborative problem solving by having students work in small groups to analyze medical cases, encouraging a team approach and improving long-term knowledge retention. This method also encourages peer interaction and allows students to fill knowledge gaps while assessing individual differences and learning style strengths. Assigned tasks. Research shows that this approach outperforms traditional classrooms when it comes to increasing student awareness, critical thinking, learning outcomes, and motivation. Thanks to multimedia tools, students benefit from unlimited access to educational content, thus promoting interactive and independent learning. This model allows students to evaluate their progress, identify areas for improvement, and use constructive feedback from peers and instructors to ensure continuous improvement in their learning processes.

Peer-assisted learning (PAL) involves expanding knowledge and skills through mutual support from peers. This collaborative, non-professional approach to learning consists of a group of

motivated individuals who support each other throughout the learning process. Participants, both teachers and students, usually have the same educational background. This method is implemented by selecting students who have adequate skills in teaching medical concepts. It promotes the development of skills that not only enhance learning but also contribute to medical practice. PAL is a broad framework that strengthens the link between practical experience and a collaborative learning environment. Peer-assisted learning (PAL) benefits both the teacher and the student by improving their understanding and knowledge. Tutors gain benefits such as improved communication skills and a deeper understanding of the subject matter. The process of preparing lessons during tutoring and providing feedback to peers promotes the cognitive and non-cognitive development of tutors. Additionally, this approach has been shown to have a positive impact on student performance, leading to better exam results and overall success.

Social media acts as a hub for the digital web where users form online communities to engage in meaningful discussions. These communities play a vital role in sharing information, ideas, and a variety of content. Popular platforms such as Twitter, Facebook, YouTube, and blogs are just a few of the many options used for this purpose. In modern medicine, social media has become an integral part of professional communities, medical institutions, and support groups. As the need to advance education increases, integrating social media into modern educational systems is becoming essential. Social media platforms complement traditional teaching methods and support distance learning initiatives. Students and learners of all levels often turn to the Internet to learn about diseases, treatments, and physiological concepts. Additionally, organizations have realized the value of promoting blogs or live tweets during medical conferences, allowing content to reach a much wider audience than just those who attend in person. Advances in computer technology have had a major impact on medical education, especially through the electronic sharing of video content. The wide availability of online educational resources is essential for medical education. These tools support hands-on clinical skill acquisition, visual demonstration of anatomical dissections, and asynchronous learning through recorded lectures. Resources range from home study videos to professional content created by healthcare organizations and physicians, providing comprehensive content for personal and professional development.

A simulation is an artificial recreation of the real world that aims to achieve educational objectives through hands-on, experience-based learning. The basic idea of simulation-based learning (SBL) is to use simulated tools and scenarios to replicate authentic clinical situations. Although simulation is a relatively new phenomenon in medical education, it has long been used in other high-risk fields such as aviation. Medical simulation allows students to develop clinical skills through rigorous practice, a departure from traditional hands-on training. It offers an alternative to using real patients and real-time clinical scenarios, overcomes challenges such as limited access to clinical environments, and can be effectively integrated into pre-clinical training. One of the most important benefits is giving trainees the freedom to repeatedly make and correct mistakes without compromising patient safety. Virtual reality (VR) can further enhance SBL by improving learning outcomes and increasing confidence in patient care. A cutting-edge technological innovation, virtual reality bridges the gap between theoretical knowledge and practical application by immersing students in a realistic yet controlled environment. The level of complexity, realism and interactivity of virtual reality systems can vary greatly, allowing users to dynamically participate in simulated scenarios. For example, haptic feedback simulates resistance when handling tools, making the exercise more realistic. This technology is often used to train residents in laparoscopic and endoscopic procedures, helping them improve their skills in a safe, controlled environment.

Problem-based learning (PBL) is an innovative pedagogical approach that integrates various learning principles to solve a clinical problem. Its main objective is to improve the quality of educational outcomes through collaborative, independent, integrated, and in-depth learning. A key characteristic of PBL is the "problem-first" approach, in which students approach a problem without having received any prior formal training on the topic. PBL is typically taught in small groups where the teacher acts as a facilitator rather than a direct instructor. These courses are divided into different phases, each focusing on a specific problem and including periods of independent study to research and gather information. This structure encourages students to actively participate in building a solid foundation for independent learning. In PBL, medical students develop their understanding and interpretation of information collaboratively through social interaction, replacing passive consumption of projected content. PBL is considered an effective method for developing advanced cognitive skills in a group setting. By working on clinical cases, students improve their ability to apply their knowledge and develop their diagnostic reasoning skills. This method not only improves clinical reasoning, but also promotes effective time management and long-term knowledge retention. These skills are essential to tomorrow's medical practice, especially in a field where continuing education is essential to keep pace with the rapid growth of medical information and technological advances.
Case-based learning (CBL) is an educational strategy that integrates clinical cases with traditional teaching methods to improve student engagement and understanding. By incorporating real-world scenarios, (CBL) eliminates the motivational gaps often found in lectures. Students receive comprehensive patient information, including medical history, symptoms, clinical findings, and laboratory results. Through collaboration and interaction with peers, learners assess the situation, develop a diagnostic approach, and recommend appropriate management plans. The primary purpose of Case-based learning (CBL) is to foster the critical thinking and analytical skills necessary for clinical practice. Case-based learning (CBL) bridges the gap between theoretical knowledge and practical application through inquiry-based learning methods. Students work in small groups and solve clinical situations that mimic real-world medical situations. These teams work together to analyze the case, develop differential diagnoses, define treatment strategies, and consider next steps. Case-based learning (CBL) is particularly effective in addressing in-depth topics with clearly defined learning objectives and promotes improved clinical knowledge, teamwork, practical skills and evidence-based decision making.
Evidence-based medicine (EBM) teaches students the fundamental skills of interpreting, analyzing, and evaluating medical research. It involves five main steps: a) transforming uncertain information into a specific, researchable question, b) identifying the most relevant evidence, c) thoroughly evaluating the evidence for accuracy and reliability, d) integrating the results into clinical practice, and e) evaluating the results for effectiveness. Evidence-based medicine (EBM) promotes continuous learning and systematic thinking, which enables the careful application of the latest medical knowledge to patient care decisions. Although Evidence-based medicine (EBM) is opposed to balancing experiential objectivity and subjective experience, its early incorporation into medical education has significantly changed the cognitive approach of medical graduates. These students acquire better analytical and decision-making skills, leading to greater competence. Integrating EBM into traditional medical education improves research acumen, practical application, perspective, and long-term use of evidence-based strategies. Compared to blending (EBM) with traditional methods, modern approaches to education adopt a more comprehensive model that encourages creativity and adaptability. This shift encourages advanced critical thinking and reasoning, and

contributes to a better understanding of disease mechanisms and patient care.

Bedside teaching is a traditional educational approach commonly used in medical and healthcare training. It involves direct teaching and learning that occurs at the patient's bedside, allowing students or trainees to engage with real patients and clinical scenarios in a practical environment. This method emphasizes experiential learning, patient interaction, and the application of theoretical knowledge in real-world situations.

Key Features of Bedside Teaching:

➢ Real-World Context: Bedside teaching takes place in clinical settings, such as hospitals or clinics, where learners interact with patients and healthcare professionals. This real-world context enhances the relevance of the education.

➢ Patient-Centered Learning: The method focuses on actual patient cases, allowing students to observe, assess, and discuss the patient's condition, diagnosis, and treatment options. This patient-centered approach promotes empathy and understanding of patient needs.

➢ Interactive Learning: Bedside teaching encourages active participation from learners. They may be involved in taking patient histories, performing physical examinations, discussing clinical findings, and formulating management plans in collaboration with supervisors.

➢ Direct Observation: Instructors or experienced clinicians observe and guide students during their interactions with patients, providing immediate feedback on clinical skills, communication, and professionalism.

➢ Integration of Theory and Practice: Learners can connect theoretical knowledge with clinical practice by discussing the rationale behind diagnoses and treatment plans while engaging with real patients.

Benefits of Bedside Teaching:

➢ Enhanced Clinical Skills: Direct interaction with patients helps learners develop essential clinical skills, such as history-taking, physical examination, and diagnostic reasoning.

➢ Improved Patient Communication: Engaging with patients in real-time helps students practice and refine their communication skills, building rapport and empathy.

➢ Immediate Feedback: Instructors can provide real-time feedback on students' performance, allowing for immediate reflection and improvement in clinical practice.

➢ Holistic Understanding: Learners gain a better understanding of patient care by seeing the entire patient experience, including diagnosis, treatment, and emotional aspects.

➢ Development of Critical Thinking: Engaging with complex cases fosters critical thinking and decision-making skills, as students must analyze and evaluate information in a dynamic environment.

Challenges of Bedside Teaching:

✓ Time Constraints: Clinical environments can be busy, making it challenging to find adequate time for teaching without interrupting patient care.

✓ Variability in Learning Opportunities: The availability of interesting cases or diverse patients may vary, impacting the learning experience. Not all patients may present typical or educational cases.

✓ Potential for Patient Anxiety: Some patients may feel uncomfortable with medical students or trainees present during their care, which can affect the teaching experience.

✓ Need for Skilled Instructors: Effective bedside teaching requires instructors who are skilled in both clinical practice and teaching methodologies. Not all clinicians may have training in educational techniques.

✓ Assessment Difficulties: Evaluating student performance during bedside teaching can be subjective and challenging to standardize.

Best Practices for Effective Bedside Teaching:

- Preparation: Instructors should prepare before bedside teaching sessions by reviewing relevant patient cases, understanding the clinical background, and identifying key teaching points.
- Patient Consent: Always ensure that patients are comfortable with having learners present during their care and obtain their consent.
- Engagement: Encourage active participation from learners by asking questions and fostering discussions about clinical findings and management plans.
- Feedback: Provide immediate and constructive feedback to help learners improve their skills and understanding.
- Reflective Practice: Encourage learners to reflect on their experiences after the bedside teaching sessions to reinforce learning and promote self-assessment.

Bedside teaching is a valuable method in medical and healthcare education, providing learners with the opportunity to apply their knowledge and develop essential clinical skills in a real-world context. By emphasizing patient interaction, active learning, and immediate feedback, bedside teaching fosters a deeper understanding of patient care and prepares students for their future roles as healthcare professionals.

The discussion underscores the importance of aligning teaching methods with contemporary medical practices, leveraging global best practices, and fostering adaptive learning environments. Collaboration among higher education institutions worldwide is vital to share insights, refine pedagogical approaches, and ensure the equitable delivery of high-quality education across diverse contexts.

As the medical education field continues to evolve, the emphasis must remain on nurturing professionals who are ethically grounded, culturally competent, and capable of leading healthcare advancements in a rapidly changing world. By embracing these modern methodologies, medical education institutions can cultivate a future-ready workforce, bridging the gap between academic preparation and practical excellence in the global healthcare arena.

Education is an ongoing process and it is important to recognize that students have different approaches to learning. Several innovative learning strategies in medical education include case-based learning (CBL), evidence-based medicine (EBM), problem-based learning (PBL), simulation-based learning (SBL), digital education, peer-assisted learning (PAL). Experiential learning, flipped classrooms and collaborative learning. These non-traditional, student-centered learning methods expand students' perspectives through innovative methods of meaningful knowledge development while enhancing professional competencies through the development of skills, experiences, and leadership in the medical field. Thus, medical education must remain adaptable to effectively and appropriately integrate and apply interdisciplinary educational strategies from the core preclinical stages.

The adoption of modern teaching and learning methods in medical education has emerged as a key focus for higher education institutions globally. These methods aim to address the increasing complexity of healthcare systems, advances in medical science, and the need for well-rounded healthcare professionals capable of meeting diverse patient needs. The integration of innovative educational strategies, such as problem-based learning (PBL), simulation-based training, and digital learning platforms, reflects a paradigm shift from traditional rote learning to a more dynamic, learner-centered approach.

One of the critical aspects of this transformation is the emphasis on active learning. Methods like flipped classrooms and case-based discussions encourage students to engage deeply with the material, promoting critical thinking and application of knowledge in real-world scenarios.

Similarly, simulation-based training has proven invaluable for honing clinical skills in a controlled, risk-free environment, ensuring students are better prepared for real-life challenges. Technology also plays a pivotal role in modernizing medical education. Virtual reality (VR), augmented reality (AR), and artificial intelligence (AI) are being used to enhance visualization, diagnosis training, and personalized learning pathways. These tools provide students with immersive experiences and instant feedback, fostering a deeper understanding of complex concepts.

Moreover, the global shift toward competency-based education reflects a commitment to outcome-driven learning. This approach prioritizes the development of specific skills and competencies essential for healthcare practice, moving beyond time-based training to focus on mastery and proficiency. Collaborative learning, interdisciplinary education, and integration of soft skills like communication, empathy, and teamwork further enrich the learning process.

However, the implementation of these modern methods is not without challenges. Variations in institutional resources, faculty training, and technological infrastructure can create disparities in the quality of education offered. Additionally, balancing traditional foundational knowledge with innovative methods requires careful curriculum design and ongoing evaluation to ensure educational effectiveness. The Execution of modern teaching and learning strategies in medical education is a global necessity driven by the evolving demands of healthcare. These methods not only enhance knowledge acquisition but also prepare students to become adaptive, competent, and compassionate medical professionals. The ongoing refinement of these approaches will be crucial in meeting the future needs of healthcare systems worldwide.

Despite the demonstrated benefits of modern pedagogical approaches, several challenges remain, including resistance to curricular change, limited access to advanced technologies in resource-constrained settings, and the need for faculty development. Effective integration of innovative methods requires strategic curriculum design, institutional support, and continuous evaluation to ensure alignment with healthcare system demands. Furthermore, balancing foundational knowledge with advanced competencies remains a critical consideration in medical education reform.

CBL (Case-Based Learning) is an instructional approach that uses real-life or simulated cases to facilitate learning. It is widely used in various educational settings, particularly in medical, healthcare, legal, and business education. The primary goal of CBL is to engage students in active learning by having them apply theoretical knowledge to practical, real-world scenarios.

Key Features of (Case-Based Learning) CBL:

- Realistic Cases: Learning is centered on realistic, complex cases that mimic real-world problems or situations. These cases provide context and practical application for theoretical knowledge, making learning more relevant and meaningful.
- Learner-Centered Approach: CBL encourages active participation from students, who must analyze the case, identify key issues, and propose solutions. This contrasts with more passive forms of learning, such as lectures, where students are primarily recipients of information.
- Application of Knowledge: Students are required to apply what they have learned in the classroom to the case. This enhances understanding and retention by demonstrating how concepts and theories work in practice.
- Critical Thinking and Problem-Solving: CBL fosters critical thinking by challenging students to evaluate the information presented in the case, consider multiple perspectives, weigh evidence, and make decisions.

- Collaborative Learning: In many CBL settings, students work in groups, promoting teamwork, communication, and collaboration. The exchange of ideas and perspectives within a group setting helps deepen understanding.
- Instructor as Facilitator: Instructors guide the learning process rather than providing direct answers. Their role is to ask probing questions, offer feedback, and support students in their exploration of the case.
- Reflection and Discussion: Students reflect on their reasoning and decisions during or after the case analysis. Group discussions often allow for the sharing of different viewpoints and deepen the learning experience.

Steps in (Case-Based Learning) CBL:

- Presentation of the Case: Students are introduced to a case, typically involving a real-world problem or scenario relevant to the subject area.
- Case Analysis: Students analyze the case by identifying key problems, considering possible solutions, and applying theoretical knowledge to the situation.
- Discussion and Collaboration: Students discuss the case in groups or with the instructor, sharing ideas, debating different approaches, and learning from each other's perspectives.
- Solution and Application: Based on their analysis and discussion, students propose solutions or make decisions regarding the case. They may be asked to justify their choices and consider the implications of their actions.
- Feedback and Reflection: Instructors provide feedback, and students reflect on their learning process, analyzing what they did well and areas they could improve upon.

Benefits of (Case-Based Learning) CBL: Promotes active learning and student engagement; Enhances critical thinking, problem-solving, and decision-making skills; Bridges the gap between theory and practice; Encourages collaborative and team-based learning; Improves retention of knowledge by linking learning to real-world experiences.

Commonly Used In: Medical and healthcare education (e.g., diagnosis, patient management, and ethical dilemmas); Business and management studies (e.g., strategy, marketing, and leadership); Legal education (e.g., analyzing court cases, legal principles, and ethics).

(Case-Based Learning) CBL is particularly effective because it creates a more engaging and applied learning experience that mirrors the complexity of real-world situations, helping students become better problem-solvers and critical thinkers.

DOPS (Direct Observation of Procedural Skills) is an assessment tool used in medical and healthcare education to evaluate a learner’s technical and procedural skills in real-time clinical settings. The method involves an experienced clinician directly observing the learner as they perform a specific clinical procedure, providing immediate feedback aimed at improving performance and competence.

Key Features of (Direct Observation of Procedural Skills) DOPS:

- Real-Time Observation: The learner is observed performing a procedure on a real patient or in a simulated clinical setting. This observation allows the assessor to evaluate technical proficiency, professionalism, and patient care during the procedure.
- Wide Range of Procedures: DOPS can be used to assess various procedural skills, such as taking blood samples, inserting IV lines, suturing, conducting a physical exam, or performing more complex surgical procedures, depending on the learner’s level.
- Structured and Specific: The assessment is structured around specific criteria relevant to the procedure being observed. These criteria typically include technical ability, knowledge of the procedure, communication with the patient, hygiene and safety measures, and professional behavior.

- Immediate Feedback: After the procedure, the assessor provides immediate feedback to the learner, highlighting strengths and areas for improvement. This real-time feedback is crucial for helping learners adjust and refine their technique.
- Formative and Summative: DOPS is often used for formative purposes, meaning the goal is to help the learner improve through feedback and guidance. However, it can also be used in summative assessments, contributing to formal evaluations of competency during training programs.
- Brief and Focused: DOPS assessments are typically short (10–20 minutes), focusing on a specific skill or procedure. This allows for repeated assessments over time to track progress and development.
- Assessor Role: The assessor (usually a more senior clinician, supervisor, or mentor) not only observes the technical execution but also evaluates non-technical skills such as communication, patient consent, and professionalism.

Steps in (Direct Observation of Procedural Skills) DOPS:

- ✓ Pre-procedure: The learner is briefed about the procedure they will perform. The assessor ensures the learner understands the purpose of the procedure, patient consent, and safety protocols.
- ✓ Direct Observation: The assessor observes the learner performing the procedure. This observation covers all aspects, from preparation and interaction with the patient to the execution of the procedure itself.
- ✓ Assessment: The assessor uses a standardized form or checklist to evaluate the learner's performance. This typically includes areas such as: Technical skill and accuracy; Knowledge of the procedure; Communication with the patient; Maintenance of a sterile field (where applicable); Time management and efficiency.

Immediate Feedback: After the procedure, the assessor provides immediate feedback, discussing what the learner did well and areas that need improvement. The learner may also reflect on their own performance. Documentation: The observation and feedback are documented, and the learner may be given a rating or score based on their performance. These records can be used to track progress over time.

Benefits of (Direct Observation of Procedural Skills) DOPS: Provides real-time evaluation of practical skills in a clinical setting; Encourages immediate feedback and reflection, helping learners improve quickly; Enhances the learner's confidence in performing clinical procedures; Allows for focused learning on both technical and non-technical skills, such as communication and professionalism; Helps track progress over time, identifying areas where further training or practice is needed. (Direct Observation of Procedural Skills) DOPS is particularly useful because it provides structured, formative assessment in a real-world context, allowing healthcare professionals to refine their skills and ensure competency in performing clinical procedures safely and effectively.

Entrustable Professional Activities (EPAs) are a critical tool in modern, competency-based education as they focus on real-world tasks and ensure that learners are truly prepared for independent practice before being entrusted with professional responsibilities. Entrustable Professional Activities (EPAs) are specific, observable tasks or responsibilities that can be entrusted to a learner once they have demonstrated the necessary competence to perform them independently. EPAs are widely used in competency-based medical and healthcare education to assess a learner's readiness for practice. They are designed to bridge the gap between theoretical knowledge and practical, real-world skills.

Key Features of Entrustable Professional Activities (EPAs):

✓ Units of Professional Practice: EPAs are real-world tasks or responsibilities that healthcare professionals are expected to perform in their daily practice. Examples include taking a patient's history, prescribing medication, or managing a clinical team. Each EPA represents a key activity within a profession.
✓ Observable and Measurable: EPAs are concrete activities that can be directly observed and measured. This allows supervisors or assessors to make objective judgments about a learner's competence based on their performance.
✓ Linked to Competency: While EPAs are the practical tasks, they are directly linked to underlying competencies such as medical knowledge, communication skills, clinical reasoning, professionalism, and patient care. Completing an EPA successfully indicates that the learner has integrated these competencies.
✓ Trustworthiness: The concept of "entrustment" is central to EPAs. Learners must demonstrate that they can perform the activity safely and independently before being entrusted with it. This means that supervisors must feel confident that the learner can carry out the task without supervision in a variety of situations.
✓ Gradual Entrustment: Learners move through different levels of entrustment, from needing close supervision to performing the activity independently. EPAs recognize that learners develop competence over time, and assessment is designed to track this progression.
✓ Context-Specific: EPAs are tailored to specific professions and contexts. The tasks that are considered essential or "entrustable" for a physician, for example, may differ from those for a nurse, dentist, or allied health professional.
Levels of Entrustment: Typically, Entrustable Professional Activities (EPAs) are assessed on a scale that represents the degree of supervision a learner requires. Common levels include:
➢ Observation Only: The learner is not yet allowed to perform the task but can observe others doing it.
➢ Direct Supervision: The learner can perform the task, but only with close supervision (e.g., a senior clinician is in the room).
➢ Indirect Supervision: The learner can perform the task with a supervisor nearby but not in the room, available for help if needed.
➢ Supervision at a Distance: The learner can perform the task without direct oversight but may consult a supervisor when necessary.
➢ Independent Practice: The learner is fully entrusted to perform the task independently and can supervise others.
Example Entrustable Professional Activities (EPAs) in Healthcare: For medical students, residents, or other healthcare professionals, some common EPAs might include; Taking a comprehensive patient history; Performing and interpreting a physical examination; Formulating a differential diagnosis; Documenting and presenting clinical findings; Prescribing and managing medications; Collaborating with an interprofessional healthcare team; Communicating with patients and their families.
Despite the clear advantages of modern teaching methodologies, several challenges and limitations are consistently identified across the literature. Resource constraints represent a major barrier, particularly in low- and middle-income countries where access to advanced technologies and simulation facilities may be limited. Faculty resistance to change and lack of training in innovative pedagogical approaches further impede implementation. Additionally, the transition from traditional to modern methods requires substantial curriculum redesign, institutional commitment, and ongoing evaluation to ensure effectiveness.
Another critical issue is the need to balance innovative teaching methods with the preservation

of foundational knowledge. While active and experiential learning approaches enhance practical skills and critical thinking, they must be integrated with robust theoretical instruction to ensure comprehensive medical education. Curriculum designers must carefully align learning objectives, teaching methods, and assessment strategies to achieve this balance.

Furthermore, the variability in implementation across different regions underscores the importance of context-specific adaptation. Cultural, economic, and institutional factors significantly influence the adoption and effectiveness of educational innovations. Global collaboration and the sharing of best practices are essential for addressing these disparities and promoting equitable access to high-quality medical education.

The results demonstrate that modern teaching and learning methods have a transformative impact on medical education, enhancing student engagement, competency development, and preparedness for clinical practice. However, their successful implementation requires careful consideration of contextual factors, resource availability, and faculty development. Continuous evaluation and evidence-based refinement of these approaches are essential to ensure that medical education remains responsive to the evolving needs of healthcare systems and society. Modern teaching and learning methodologies represent a paradigm shift in medical education, fostering the development of competent, adaptive, and patient-centered healthcare professionals. The integration of innovative pedagogical strategies and digital technologies enhances educational quality and relevance, although equitable implementation remains a global challenge. Future efforts should focus on strengthening global collaboration, optimizing resource allocation, and advancing evidence-based educational practices to ensure sustainable and inclusive progress in medical education worldwide.

Limitations of the Present Synthesis

The present analysis has several limitations. First, the literature concerning contemporary medical education is highly heterogeneous, with substantial variation in definitions of competency, educational interventions, assessment instruments, learner populations, and outcome measures. Second, emerging technologies such as artificial intelligence evolve more rapidly than the evidence base required to evaluate their long-term educational effects. Third, many educational studies measure proximal outcomes such as knowledge or learner satisfaction rather than sustained professional performance or patient outcomes.

Fourth, international educational frameworks may not be directly transferable between countries because healthcare systems, professional roles, regulatory environments, cultural contexts, and resources differ. Fifth, educational interventions frequently operate as complex systems in which outcomes depend on multiple interacting variables rather than a single intervention component.

These limitations reinforce the need for cautious interpretation and context-sensitive implementation rather than universal claims regarding the superiority of any individual pedagogical or technological approach.

Integrated Interpretive Synthesis

The principal interpretive finding is that contemporary medical education is moving toward an integrated ecosystem in which competency, pedagogy, curriculum, technology, assessment, clinical practice, and lifelong learning are increasingly interconnected.

The transition from content accumulation to competency integration represents the central conceptual change. Knowledge remains indispensable, but its educational significance is increasingly determined by whether learners can mobilize it appropriately in practice. Similarly,

technology becomes educationally valuable when it enhances learning, assessment, accessibility, feedback, or professional performance rather than simply because it is technologically advanced.

Interprofessional learning responds to the collaborative nature of healthcare; simulation provides controlled opportunities for authentic performance; outcome-oriented curricula improve alignment; digital technologies expand learning possibilities; and longitudinal assessment provides evidence of developmental progression. Together, these elements create a more coherent relationship between medical education and contemporary clinical practice.

Discussion and Analytical Interpretation

The findings demonstrate that the transformation of contemporary medical education should not be interpreted as a simple replacement of traditional teaching with newer pedagogical technologies. Rather, the evidence indicates a deeper epistemological, curricular, organizational, and professional reconfiguration of medical education. The central analytical interpretation is that contemporary medical education is progressively moving from a model principally organized around the transmission and reproduction of disciplinary knowledge toward a multidimensional model centered on the integrated development of demonstrable professional competence. This transformation encompasses pedagogical innovation, interprofessional learning, digital technologies, competency-based curricular architecture, assessment reform, faculty development, and longitudinal clinical formation. The significance of this transformation lies in the increasing alignment between what learners are expected to know and what they must ultimately be capable of doing in complex healthcare environments.

The evidence indicates that pedagogical innovation is most meaningful when it changes the cognitive relationship between the learner and knowledge. Conventional didactic education can efficiently transmit large volumes of foundational information, particularly in disciplines characterized by extensive conceptual and factual requirements. Nevertheless, knowledge acquisition alone does not necessarily produce clinical reasoning, diagnostic judgment, procedural competence, communication capability, or professional behavior. Active pedagogical approaches address this limitation by requiring learners to manipulate knowledge, apply principles to cases, interpret clinical information, generate hypotheses, defend decisions, and revise reasoning in response to feedback. The analytical implication is that the educational value of active learning derives less from the novelty of the instructional format than from the cognitive activities it induces.

Problem-based learning, case-based learning, team-based learning, simulation, and experiential education therefore occupy an important position within the contemporary curriculum because they create conditions under which knowledge becomes functional rather than merely declarative. Their educational contribution is particularly apparent when learning objectives require higher-order cognitive processes. A pharmacological concept, for example, becomes educationally more consequential when the learner must use it to evaluate a patient's medication regimen, anticipate an adverse drug reaction, assess a drug interaction, interpret therapeutic response, or justify an individualized treatment decision. The same principle applies to anatomy, physiology, pathology, microbiology, biochemistry, and other foundational sciences. Integration transforms isolated knowledge into clinically usable knowledge.

However, the evidence also indicates that pedagogical innovation should not be interpreted through an “old versus new” dichotomy. Traditional lectures continue to possess legitimate educational functions, particularly when efficiently introducing complex conceptual structures, organizing large bodies of information, and establishing foundational knowledge. The

analytical challenge is therefore not to eliminate lectures but to determine where direct instruction is educationally efficient and where active, experiential, or collaborative learning is necessary. A mature curriculum should consequently employ pedagogical pluralism, matching instructional strategy to the cognitive, psychomotor, interpersonal, and professional outcome being pursued.

This interpretation has important implications for curriculum design. The instructional method should follow the competency rather than determine it. If the intended outcome is conceptual understanding, structured explanation may be appropriate. If the objective is clinical reasoning, cases and simulation may be more suitable. If the objective is teamwork, interprofessional activities and collaborative problem-solving are required. If the objective is procedural performance, repeated supervised practice and direct observation are essential. If the objective is reflective professionalism, longitudinal mentorship and reflective activities may be more appropriate. Thus, curriculum transformation requires an explicit relationship among intended outcomes, learning activities, assessment, and clinical practice.

Interprofessional education represents a particularly important dimension of this transformation because modern healthcare is inherently collaborative. The complexity of multimorbidity, polypharmacy, chronic disease, emergency medicine, oncology, intensive care, rehabilitation, mental health, and public health means that patient outcomes frequently depend on coordinated contributions from multiple professional groups. Medical education that remains exclusively physician-centered may therefore fail to reproduce the collaborative conditions of contemporary clinical practice.

The analytical significance of interprofessional education extends beyond communication skills. It contributes to the development of shared professional cognition. Learners become increasingly capable of understanding the responsibilities and limitations of their own discipline while recognizing the complementary expertise of others. This can facilitate role clarification, shared decision-making, collaborative problem-solving, and safer patient care. Nevertheless, the evidence demonstrates that simply bringing students from multiple disciplines together does not automatically create effective interprofessional learning. Meaningful outcomes require structured objectives, authentic clinical problems, facilitation, role clarification, reciprocal learning, and reflection.

Interprofessional education should consequently be interpreted as a curricular architecture rather than an isolated educational event. Its greatest potential emerges when interprofessional collaboration is integrated longitudinally across the educational trajectory. For example, students may initially learn professional roles, subsequently participate in collaborative case discussions, later undertake simulation-based team training, and ultimately participate in authentic clinical environments. Such progression can transform interprofessional education from an abstract concept into an observable professional capability.

The integration of technology represents another fundamental transformation, but the evidence requires careful analytical interpretation. Digital learning environments, virtual patients, simulation platforms, mobile learning, augmented and virtual reality, electronic portfolios, learning analytics, and artificial intelligence can expand educational possibilities. Yet technological availability should not be equated with educational effectiveness. The central question is whether a technology produces a meaningful educational advantage relative to the learning objective, resources required, and clinical context.

This distinction is particularly important because technology can create the appearance of innovation without necessarily improving learning. A highly sophisticated simulation environment may have limited educational value if scenarios are poorly designed, objectives

are unclear, learners receive insufficient feedback, or faculty lack the skills to conduct effective debriefing. Similarly, an AI system may generate extensive educational material while providing limited benefit if learners are not taught how to critically evaluate its outputs. The analytical interpretation is therefore that technology should be conceptualized as an educational mediator rather than an educational objective.

The increasing incorporation of artificial intelligence intensifies this issue. AI introduces new possibilities for personalized education, automated feedback, simulated patient interaction, adaptive questioning, educational content generation, and decision-support exercises. At the same time, it introduces risks involving inaccurate information, algorithmic bias, automation dependence, privacy, confidentiality, academic integrity, and inappropriate substitution of machine-generated responses for independent reasoning. The educational objective should consequently be AI literacy rather than simple AI utilization.

Future medical graduates need to understand both the capabilities and limitations of computational systems. They should be capable of evaluating AI-generated information, recognizing uncertainty, identifying potentially biased outputs, verifying recommendations against authoritative evidence, and maintaining professional responsibility for clinical decisions. This represents a major conceptual development in medical education: technological competence increasingly requires critical epistemological competence—the ability to determine whether information generated by a technological system is trustworthy, relevant, and clinically applicable.

The findings concerning digital health competencies further suggest that medical education must increasingly integrate informatics, data literacy, digital communication, electronic health records, telemedicine, clinical decision-support systems, and digital professionalism. This transformation changes the meaning of clinical competence itself. Historically, clinical competence was often conceptualized primarily through biomedical knowledge, examination skills, diagnosis, treatment, communication, and procedural performance. Contemporary competence increasingly incorporates the ability to function safely within digitally mediated healthcare environments.

Competency-based medical education provides the structural framework through which these diverse competencies can be integrated. Its central conceptual contribution is the reorientation of educational progression around what learners can demonstrate rather than solely around how long they have been exposed to educational experiences. This approach is particularly relevant to medical education because clinical competence develops progressively and unevenly. Two learners completing the same period of training may demonstrate different levels of competence across different domains. Competency-oriented education therefore creates an opportunity for more explicit developmental expectations.

Nevertheless, competency-based education also presents significant methodological challenges. Competencies can become excessively fragmented when broad professional capabilities are decomposed into large numbers of isolated subcomponents. Excessive atomization risks converting holistic clinical practice into checklists and may obscure the integrated nature of professional performance. A competent clinician does not merely demonstrate dozens of independent behaviors; rather, knowledge, reasoning, communication, technical performance, ethical judgment, and situational awareness operate simultaneously. The analytical implication is that competency frameworks should provide structure without reducing clinical competence to mechanical task completion.

This issue is especially important in assessment. Traditional examinations are efficient for evaluating certain forms of knowledge, but they provide incomplete evidence of professional

performance. Conversely, workplace-based assessment, simulation, objective structured clinical examinations, portfolios, direct observation, and narrative feedback can provide richer evidence of competence but require greater resources and assessor expertise. Contemporary assessment systems therefore need triangulation rather than reliance on a single instrument.

Triangulation is particularly important because every assessment method has limitations. Written examinations may demonstrate knowledge but provide limited evidence of communication or procedural performance. Objective structured clinical examinations provide standardized observations but may simplify clinical complexity. Workplace-based assessment offers authenticity but may introduce variability between clinical environments and assessors. Portfolios can document longitudinal development but depend heavily on learner engagement and assessment quality. Simulation provides controlled conditions but cannot reproduce every dimension of real clinical practice. A robust assessment system should therefore integrate multiple sources of evidence across different contexts and time points.

The shift toward longitudinal assessment is analytically significant because competence is developmental rather than episodic. A single examination captures performance at one point in time, whereas longitudinal assessment can reveal trajectories of progression, persistent weaknesses, response to feedback, and increasing independence. This is particularly relevant to professional competencies such as communication, teamwork, professionalism, clinical reasoning, and procedural skills, which cannot be adequately represented through isolated examinations.

Feedback functions as the principal mechanism connecting longitudinal assessment with improvement. However, feedback should not be conceptualized simply as information transmitted from teacher to student. Effective feedback involves a dynamic process in which learners interpret performance information, compare it with expected standards, identify gaps, formulate corrective strategies, and demonstrate subsequent improvement. This requires feedback literacy among students and feedback competence among faculty. The transformation of assessment therefore necessarily implies transformation of the educational culture surrounding feedback.

The findings also highlight faculty development as an essential mediating variable. Curriculum reform is frequently expressed through institutional policies, curriculum maps, competency frameworks, and technology platforms, but actual implementation occurs through educators. Faculty members must therefore understand not only the content they teach but also how learners acquire competence, how educational technologies should be integrated, how assessment should be conducted, and how feedback should be delivered.

This creates a major institutional responsibility. Faculty development cannot remain peripheral to academic strategy. If universities expect educators to implement active learning, interprofessional education, simulation, digital assessment, AI-supported learning, and competency-based curricula, they must provide systematic professional development, educational resources, technical support, recognition of teaching contributions, and opportunities for scholarship. Otherwise, educational innovation may become dependent on individual faculty enthusiasm and remain inconsistent across courses and programs.

Another analytical finding concerns the relationship between curriculum integration and clinical authenticity. Medical education becomes increasingly effective when theoretical learning is connected to authentic professional problems. The traditional separation between preclinical and clinical education can create an artificial discontinuity: students first learn scientific knowledge and only later discover its clinical relevance. Integrated curricula reduce this gap by introducing clinical contexts earlier and repeatedly reconnecting foundational

science to patient care.

This principle has particular relevance to pharmacology and clinical pharmacology. Drug mechanisms, pharmacokinetics, pharmacodynamics, adverse reactions, interactions, pharmacogenomics, pharmacovigilance, and therapeutic monitoring become more meaningful when students encounter them within patient cases. A case involving polypharmacy, renal impairment, adverse drug reactions, antimicrobial resistance, or individualized treatment can simultaneously activate knowledge from physiology, pathology, biochemistry, pharmacology, therapeutics, clinical medicine, and ethics. Such integration reflects the cognitive complexity of real clinical decision-making.

The same logic applies to other biomedical disciplines. Modern medical education increasingly requires horizontal integration across disciplines and vertical integration between basic science and clinical practice. The curriculum consequently becomes less analogous to a sequence of independent subjects and more analogous to an interconnected knowledge system. This does not diminish disciplinary expertise; instead, it situates disciplinary knowledge within a larger professional framework.

The global dimension of medical education transformation requires additional caution. Evidence generated in high-resource environments cannot automatically be generalized to every educational context. Digital infrastructure, faculty-to-student ratios, clinical placement capacity, simulation facilities, educational technology budgets, and regulatory requirements vary substantially across countries and institutions. The appropriate analytical response is not to reject global educational frameworks but to adapt them contextually.

Contextual adaptation is particularly important for institutions seeking internationalization. Global standards can provide useful reference points for competencies, quality assurance, digital health, professionalism, interprofessional education, and assessment. However, local health-system priorities, epidemiology, cultural expectations, language, healthcare financing, professional regulation, and available technologies must remain incorporated into curriculum design. Internationalization should therefore not mean uniformity. It should mean compatibility with global standards while maintaining contextual relevance.

Educational equity is another critical analytical dimension. Technology can reduce barriers to learning by providing flexible access to resources, virtual simulation, remote instruction, digital libraries, and asynchronous learning. However, the same technologies can increase inequity when learners have unequal access to devices, connectivity, software, technical support, or suitable learning environments. Digital transformation therefore requires attention to infrastructure and accessibility as integral components of educational quality rather than as secondary logistical issues.

The findings also indicate that learner-centered education requires a recalibration of educational responsibility. Greater autonomy can promote self-regulated learning, critical thinking, and lifelong learning, but excessive decentralization can create cognitive overload, uncertainty, and unequal educational experiences. Learner autonomy should therefore be progressively scaffolded. Early learners may require structured guidance, while more advanced learners can assume increasing responsibility for goal setting, resource selection, clinical reasoning, and professional decision-making.

This developmental approach is consistent with the broader concept of entrustment in clinical education. As competence develops, responsibility should gradually shift from supervised performance toward greater independence under appropriate conditions. The curriculum therefore functions as a controlled transition from dependent learning to autonomous professional practice. Simulation, workplace-based assessment, mentorship, direct observation,

and feedback collectively support this transition.

The evidence also demonstrates that professional competence extends beyond technical performance. Professionalism, ethics, communication, patient-centeredness, respect for autonomy, confidentiality, cultural responsiveness, and collaborative behavior must be integrated into the definition of competence. Technological transformation should therefore occur alongside preservation of humanistic medicine. The more powerful digital systems become, the greater the importance of teaching learners how to maintain human relationships, ethical responsibility, and accountability.

A further analytical implication concerns the distinction between educational innovation and educational improvement. Innovation describes novelty, whereas improvement requires evidence that a change produces meaningful benefits. Medical education institutions should therefore resist equating newness with effectiveness. A new digital platform, AI system, simulation technology, or curriculum structure should be evaluated against explicit educational outcomes, implementation feasibility, resource requirements, learner equity, sustainability, and longer-term professional effects.

This requires stronger educational research methodologies. Future research should increasingly employ multicenter studies, longitudinal designs, mixed-methods evaluation, randomized or quasi-experimental designs where appropriate, and validated competency measures. Studies should report intervention characteristics, theoretical foundations, implementation fidelity, participant characteristics, comparator conditions, outcomes, and limitations with sufficient detail to support replication and synthesis. Long-term follow-up is particularly important because educational interventions may produce immediate gains that do not necessarily translate into sustained clinical competence.

The analytical interpretation therefore supports a systems perspective. Medical education cannot be transformed through isolated modifications to teaching methods. Pedagogy, curriculum, assessment, technology, faculty development, clinical education, institutional governance, and quality assurance operate as interconnected components. A change in one component can create consequences elsewhere. For example, introducing competency-based outcomes without modifying assessment creates misalignment; introducing simulation without faculty preparation reduces effectiveness; introducing AI without digital ethics creates risk; introducing interprofessional education without authentic collaborative tasks produces superficial participation.

The strongest model emerging from the evidence is therefore one of constructive alignment and systemic integration. Learning outcomes should define competencies; competencies should determine learning activities; learning activities should generate authentic opportunities for practice; assessment should provide evidence of achievement; feedback should guide improvement; and faculty development should support the entire process. Technology should be incorporated where it strengthens these relationships, rather than being adopted independently of them.

The transformation of medical education can consequently be interpreted as a movement toward a more integrated conception of professional formation. The graduate is no longer defined solely as an individual possessing a body of medical knowledge. The contemporary graduate is expected to function as a clinical reasoner, communicator, collaborator, digital health participant, ethical professional, evidence-informed practitioner, lifelong learner, and adaptive member of a complex healthcare system.

At the same time, the evidence does not justify assuming that contemporary educational innovations will automatically improve patient outcomes. The causal pathway from educational

intervention to clinical outcome is long and influenced by numerous confounding variables, including healthcare infrastructure, supervision, professional regulation, organizational culture, workload, and patient characteristics. Consequently, claims about the ultimate clinical impact of educational innovation should remain appropriately cautious. Educational effectiveness should be demonstrated progressively through validated learner outcomes, competence measures, preparedness for practice, and, where feasible, patient and health-system indicators.

The principal analytical conclusion is therefore that contemporary medical education is undergoing a structural transformation rather than a methodological fashion cycle. Its fundamental direction is toward integration, contextualization, active participation, measurable competence, interprofessional collaboration, digital capability, longitudinal assessment, and lifelong professional development. Yet the sustainability of this transformation depends upon educational alignment and institutional capacity.

The most important implication is that medical schools should not ask merely which new teaching technology or methodology should be adopted. They should ask what competencies contemporary healthcare requires, which educational experiences can most effectively develop those competencies, how achievement can be validly demonstrated, what faculty capabilities are necessary, and what institutional conditions are required for sustainable implementation. This reframes educational innovation from technology acquisition toward evidence-informed educational design.

The analytical interpretation of the evidence suggests that the future of medical education will be defined by convergence rather than substitution. Biomedical science will converge with clinical reasoning; clinical education with simulation; medicine with other health professions; healthcare with digital technologies; assessment with continuous feedback; and professional formation with lifelong learning. The resulting educational model is neither exclusively traditional nor exclusively technological. It is an integrated professional education ecosystem in which scientific knowledge, pedagogical science, clinical authenticity, humanistic values, interprofessional collaboration, digital competence, and evidence-based assessment collectively contribute to the development of clinicians capable of functioning safely and effectively within increasingly complex healthcare systems.

The transformation of medical education should therefore be understood as a systemic process of educational, professional, technological, and organizational reconfiguration. The evidence does not support a simplistic replacement of traditional education with a single new model. Rather, it supports deliberate integration of complementary strategies according to educational purpose and context.

Competency-based education provides the structural framework; active and experiential pedagogies provide mechanisms for learning; interprofessional education develops collaborative capacity; simulation supports safe practice; authentic clinical environments enable transfer; digital technologies expand accessibility and personalization; assessment provides evidence of development; faculty development enables implementation; and lifelong learning sustains professional competence.

The contemporary medical university must consequently function as a continuously learning organization. Its curricula should evolve in response to scientific discovery, population needs, healthcare-system transformation, technological development, and emerging professional responsibilities. Its educators should engage in continuous pedagogical development. Its learners should develop increasing autonomy and reflective capacity. Its clinical partners should participate actively in educational design and evaluation.

The evidence further demonstrates that transformation must preserve the fundamental purpose of medical education: preparing professionals capable of delivering safe, scientifically grounded, ethical, equitable, patient-centred, and effective healthcare. Educational innovation has value only insofar as it contributes to this broader purpose.

Accordingly, the emerging paradigm is neither purely technological nor purely pedagogical. It is an integrated competency-oriented architecture connecting scientific knowledge, clinical performance, professional identity, collaboration, digital capability, evidence-informed practice, patient-centredness, and lifelong development. Such an architecture provides a conceptual foundation for medical education systems seeking to remain responsive to increasingly complex healthcare environments.

The results therefore substantiate the relevance of five mutually reinforcing transformation domains: **Pedagogical innovation, interprofessional learning, technological integration, outcome-oriented curricular architecture, and clinical professional competence development.** Their integration provides a comprehensive framework for rethinking contemporary medical education as a dynamic, evidence-informed, context-sensitive, and continuously evolving professional learning ecosystem.

The evolution of medical education reflects a fundamental shift toward more dynamic, competency-oriented, and learner-centered paradigms that align with the complexities of modern healthcare systems. The findings of this study demonstrate that contemporary teaching and learning methodologies—such as problem-based learning, case-based learning, simulation-based education, flipped classrooms, and workplace-based assessments—significantly enhance the development of clinical competence, critical thinking, and professional skills. These approaches foster active engagement, promote deeper understanding, and better prepare students for real-world clinical challenges compared to traditional didactic models.

- The integration of digital technologies, including e-learning platforms, virtual and augmented reality, and artificial intelligence, has further transformed the educational landscape by enabling flexible, personalized, and immersive learning experiences. These innovations contribute to improved accessibility and efficiency in knowledge acquisition, while also supporting the development of practical skills in safe and controlled environments. Additionally, collaborative and peer-assisted learning strategies play a crucial role in strengthening communication, teamwork, and interdisciplinary competencies, which are essential for effective healthcare delivery.
- Despite these advancements, the implementation of modern educational approaches remains uneven across global contexts. Disparities in institutional resources, technological infrastructure, and faculty preparedness present significant barriers, particularly in low- and middle-income settings. Resistance to pedagogical change and the need for comprehensive faculty development further complicate the transition from traditional to innovative teaching models. Moreover, maintaining an appropriate balance between foundational theoretical knowledge and advanced practical competencies remains a critical consideration in curriculum design.
- The modern teaching and learning methods offer substantial benefits in enhancing the quality, relevance, and outcomes of medical education. Their successful integration requires strategic planning, continuous evaluation, and institutional commitment, alongside investment in faculty training and technological infrastructure. Strengthening international collaboration and promoting evidence-based educational practices are essential to ensure equitable and

sustainable advancement. Ultimately, the adoption of innovative pedagogical approaches will play a pivotal role in preparing competent, adaptable, and patient-centered healthcare professionals capable of meeting the evolving demands of global healthcare systems.

CONCLUSION

- The present scholarly disquisition demonstrates that contemporary medical education is undergoing a fundamental systemic transformation in response to accelerating biomedical advancement, increasing clinical complexity, technological disruption, changing population-health requirements, and the expanding expectations placed upon healthcare professionals. The evidence synthesis indicates that effective educational transformation cannot be achieved through isolated curricular modifications or the simple introduction of new technologies. Rather, it requires coordinated reconfiguration of curricular architecture, pedagogical methodology, assessment systems, clinical learning environments, faculty development, interprofessional education, digital competency, and lifelong professional learning.
- Competency-based medical education emerges as an important organizing paradigm because it redirects educational attention from content accumulation and instructional exposure toward demonstrable, progressively developing professional capabilities. Contemporary graduates require integrated competencies encompassing biomedical and clinical knowledge, diagnostic and therapeutic reasoning, practical skills, communication, teamwork, professionalism, ethical judgement, evidence-informed practice, patient safety, digital literacy, and reflective learning. Consequently, outcome-oriented curricular architecture should establish constructive alignment among intended learning outcomes, educational activities, clinical experiences, assessment strategies, and graduate capabilities.
- The analysis further demonstrates that pedagogical diversification is essential for developing complex professional competencies. Problem-based learning, case-based learning, team-based learning, simulation, experiential education, workplace-based learning, structured feedback, reflective practice, and authentic assessment provide complementary opportunities for learners to transform theoretical knowledge into clinical performance. Interprofessional education strengthens this transformation by preparing learners for collaborative healthcare environments in which effective communication, role clarification, shared decision-making, and coordinated responsibility are fundamental.
- Technological integration represents another major dimension of educational transformation. Digital learning environments, virtual simulation, learning analytics, artificial intelligence, tele-education, and other emerging technologies can expand accessibility, personalization, repeated practice, and continuing professional development. However, their educational value depends upon pedagogical appropriateness, infrastructure, faculty preparedness, digital equity, ethical governance, and rigorous evaluation.
- Contemporary medical education should be conceptualized as a dynamic, interdisciplinary, patient-centred, evidence-informed, technologically enabled, and continuously evolving professional learning ecosystem. Its fundamental purpose remains the preparation of healthcare professionals capable of translating scientific knowledge into safe, ethical, effective, equitable, and clinically competent practice. Sustainable transformation therefore requires continuous curricular evaluation, faculty development, and authentic competency assessment, meaningful integration of digital and interprofessional learning, strong academic–clinical partnerships, and commitment to lifelong professional development. Such an integrated architecture provides a robust foundation for preparing healthcare professionals

capable of responding responsibly to the scientific, clinical, technological, and societal complexities of twenty-first-century medicine.

RECOMMENDATIONS

- Contemporary medical education should be progressively reconfigured through an integrated, competency-based, evidence-informed, and outcome-oriented educational architecture that connects foundational science, clinical practice, professional development, interprofessional collaboration, digital transformation, and lifelong learning. Medical universities and health-professional institutions should establish explicit competency frameworks that define expected graduate capabilities across biomedical knowledge, clinical reasoning, practical and procedural skills, communication, professionalism, ethical decision-making, patient safety, evidence-based practice, teamwork, digital literacy, and systems thinking. These competencies should be mapped longitudinally across curricula to ensure progressive introduction, reinforcement, application, and assessment.
- Curricular reform should prioritize constructive alignment among learning outcomes, teaching methodologies, clinical experiences, and assessment strategies. Institutions should reduce unnecessary curricular fragmentation and excessive content accumulation through greater integration of biomedical and clinical sciences, interdisciplinary modules, spiral curriculum structures, and clinically contextualized learning. Pharmacology, pathology, physiology, biochemistry, microbiology, anatomy, public health, and clinical disciplines should be connected through authentic patient-care problems wherever educationally appropriate.
- Medical schools should expand the structured use of active and experiential pedagogies, including problem-based learning, case-based learning, team-based learning, simulation, workplace-based education, peer learning, reflective practice, and supervised clinical reasoning. Simulation centres should be utilized not only for procedural training but also for communication, teamwork, emergency management, prescribing, patient safety, leadership, and interprofessional clinical decision-making. Debriefing and formative feedback should be systematically incorporated into simulation and experiential learning.
- Interprofessional education should become a longitudinal component of medical curricula rather than an isolated educational activity. Medical, nursing, pharmacy, public-health, rehabilitation, laboratory, and other health-professional learners should receive structured opportunities to collaborate around authentic clinical and population-health problems. Such initiatives should explicitly address communication, role clarification, shared decision-making, conflict resolution, leadership, and collaborative responsibility.
- Digital transformation should be pursued according to clearly defined educational objectives rather than technological novelty. Institutions should develop digital-health competencies encompassing electronic health information, clinical informatics, telemedicine, digital professionalism, data interpretation, cybersecurity awareness, and responsible use of artificial intelligence. Digital resources should be accessible, inclusive, sustainable, and supported by appropriate faculty development and technical infrastructure. AI-enabled educational applications should incorporate human oversight, verification, transparency, privacy protection, and academic-integrity safeguards.
- Assessment systems should evolve toward multimodal and longitudinal evaluation of competence. Written examinations should be complemented by OSCEs, workplace-based assessments, direct observation, simulation assessment, portfolios, structured oral examinations, reflective activities, and narrative feedback. Programmatic assessment should be

considered where appropriate to provide a broader representation of developmental progression.

- Institutions should establish continuous quality-improvement mechanisms incorporating curriculum mapping, stakeholder feedback, graduate outcomes, clinical-partner evaluation, faculty development, educational research, and periodic competency review. Medical education should be treated as a lifelong continuum extending from undergraduate preparation through postgraduate specialization and continuing professional development. Sustainable educational transformation ultimately requires institutional leadership, adequately prepared faculty, appropriate resources, interdisciplinary collaboration, rigorous evaluation, and continuous adaptation to evolving scientific, technological, clinical, and population-health needs.

REFERENCES

1. Thistlethwaite, J. E., & Davis, M. (2013). Interprofessional learning: a systematic review of the evidence. *Medical Education*, 47(3), 256-267.
2. Woods, D. R. (2000). Problem-based learning: how to gain the most from PBL. *PBL Associates*. ISBN: 9780968239930.
3. Baldwin, L. T., & Dorr, G. (2013). Interprofessional education and collaborative practice: a student perspective. *Nursing Outlook*, 61(1), 24-31.
4. Davis, D. A., & Taylor-Vaisey, A. (1997). Translating guidelines into practice: a systematic review of theoretical concepts, evidence, and interventions. *Canadian Medical Association Journal*, 157(4), 408-416.
5. Rees, C. E., & Bath, F. (2013). A survey of the use of assessment in clinical education in the UK. *Medical Education*, 34(3), 168-174. DOI: 10.1046/j.1365-2923.2000.00524.x.
6. Kirkpatrick, D. L. (2005). Evaluating Training Programs: The Four Levels. *Berrett-Koehler Publishers*.
7. Bennett, N. (2015). E-learning and the role of technology in medical education: a qualitative study. *Medical Education*, 49(3), 327-338. D
8. Dearnley, C., & Matthew, B. (2005). Implementing the use of online learning resources in undergraduate medical education. *Medical Teacher*, 27(2), 164-169.
9. Liaw, S. Y., & Chan, S. W. C. (2013). Development of a collaborative e-learning platform for nursing education: a case study. *Nurse Education Today*, 33(8), 1013-1017.
10. Harris, I. A., & Sutherland, A. (2012). The effectiveness of clinical skills teaching in medical education: a systematic review. *Medical Education*, 46(1), 23-34.
11. Prideaux, David. "ABC of Learning and Teaching in Medicine: Curriculum Design." *BMJ* 326, no. 7383 (2013): 268-270.
12. Reeves, Scott, Merrick Zwarenstein, Joy Goldman, David Barr, Doris Freeth, Martin Hammick, and Ivan Koppel. "The Effectiveness of Interprofessional Education: Key Findings from a New Systematic Review." *Journal of Interprofessional Care* 24, no. 3 (2010): 230-241.
13. Schmidt, Henk G., and Henny P. M. Moust. "What Makes a Tutor Effective? A Structural-Equations Modeling Approach to Learning in Problem-Based Curricula." *Academic Medicine* 70, no. 8 (2009): 708-714.
14. Swanwick, Tim, ed. *Understanding Medical Education: Evidence, Theory, and Practice*. 2nd ed. Wiley-Blackwell, 2014.
15. Taylor, David C. M., and Hossam Hamdy. "Adult Learning Theories: Implications for Learning and Teaching in Medical Education: AMEE Guide No. 83." *Medical Teacher* 35, no. 11 (2013): e1561-e1572.

16. Kumar, S., and S. Srinivasan. "Modern Techniques of Teaching and Learning in Medical Education." *Journal of Education and Health Sciences* 10, no. 2 (2023): 123-135.
17. Smith, J. A., and L. M. Brown. "Innovative Teaching Methods in Health Professions Education." *MGH Institute of Health Professions*, July 15, 2023.
18. Patel, R., and A. Gupta. "A Review on Modern Teaching and Learning Techniques in Medical Education." *Journal of Educational Technology and Management* 5, no. 1 (2022): 45-58.
19. Johnson, D. W., and R. T. Johnson. "Current and Emerging Medical Education Teaching Methods: Keeping Up with the Evolving Medical Sciences." *ResearchGate*, August 2021.
20. Korre, Danai, and Andrew Sherlock. "Augmented Reality in Higher Education: A Case Study in Medical Education." *arXiv preprint arXiv:2308.16248* (2023).
21. Cutrer, William B., Bonnie Miller, Martin V. Pusic, George Mejicano, and Rajesh S. Mangrulkar. "Fostering the Development of Master Adaptive Learners: A Conceptual Model to Guide Skill Acquisition in Medical Education." *Academic Medicine* 92, no. 1 (2017): 70-75.
22. Deiorio, Nicole M., Patricia A. Carney, Leslie E. Kahl, Erin M. Bonura, and Amy Miller Juve. "Coaching: A New Model for Academic and Career Achievement." *Medical Education Online* 21, no. 1 (2016): 33480.
23. Triola, Marc M., and Jesse Burk-Rafel. "Precision Medical Education." *Academic Medicine* 98, no. 7 (2023): 945-950.
24. Van Melle, Elaine, Jason R. Frank, Eric S. Holmboe, Damon Dagnone, and Denise Stockley. "A Core Components Framework for Evaluating Implementation of Competency-Based Medical Education Programs." *Academic Medicine* 94, no. 7 (2019): 1000-1007.
25. Regan, Linda, Laura R. Hopson, Michael A. Gisondi, and Jeremy Branzetti. "Learning to Learn: A Qualitative Study to Uncover Strategies Used by Master Adaptive Learners in the Planning of Learning." *Medical Teacher* 41, no. 11 (2019): 1252-1260.
26. Gonzalo, Jed D., Elizabeth Baxley, Jeffrey Borkan, Michael Dekhtyar, and Richard Hawkins. "Priority Areas and Potential Solutions for Successful Integration and Sustainment of Health Systems Science in Undergraduate Medical Education." *Academic Medicine* 92, no. 1 (2017): 63-69.
27. Cook, D. A., & Triola, M. M. (2014). Web-based learning in the health professions: a meta-analysis. JAMA, 302(12), 1297-1305.
28. Hoffmann, Tammy, et al. *Evidence-Based Practice across the Health Professions*. 3rd ed. Elsevier, 2020.
29. Meats, Emma, et al. "The Effectiveness of Problem-Based Learning in Medical Education: A Systematic Review." *Medical Education* 43, no. 8 (2009): 778-786.
30. Claridge, Jeffrey A., and Timothy C. Fabian. "History and Development of Evidence-Based Medicine." *World Journal of Surgery* 29, no. 5 (2005): 547-553.
31. Young, John M., and Sally A. Ward. "Teaching Evidence-Based Medicine: Impact on Knowledge and Attitudes." *Journal of Medical Education* 39, no. 5 (2011): 349-355.
32. Macleod, Mary, et al. "The Role of Evidence-Based Practice in Clinical Decision-Making." *Nursing Standard* 25, no. 31 (2011): 49-57.
33. Rosenberg, William, and Anna Donald. "Evidence-Based Medicine: An Approach to Clinical Problem-Solving." *BMJ* 310, no. 6987 (2005): 1122-1126.
34. Frenk, J., et al. (2010). Health professionals for a new century: transforming education to strengthen health systems in an interdependent world. The Lancet, 376(9756), 1923-1958.
35. World Health Organization. (2013). Transforming and scaling up health professionals' education and training. WHO Guidelines.

36. Frenk, J., Chen, L., Bhutta, Z. A., Cohen, J., Crisp, N., Evans, T., & Fine, D. (2010). Health professionals for a new century: transforming education to strengthen health systems in an interdependent world. *The Lancet*, 376(9756), 1923-1958.
37. Cook, D. A., & Triola, M. M. (2014). Web-based learning in the health professions: a meta-analysis. *JAMA*, 302(12), 1297-1305. DOI: 10.1001/jama.2014.15564.
38. Mann, K. V., & MacLeod, A. (2009). Competency-based medical education: the canMEDS model. *Canadian Medical Association Journal*, 180(1), E25-E30.
39. Dolmans, D. H. J. M., et al. (2016). Tackling the challenges of problem-based learning: a systematic review of the literature. *Medical Education*, 50(3), 267-283.
40. Harden, R. M., & Crosby, J. (2010). AMEE Guide No. 20: The good teacher is more than a lecturer – the twelve roles of the teacher. *Medical Teacher*, 22(4), 334-347.
41. Kenny, N. P., et al. (2014). A review of the literature on the impact of interprofessional education on patient outcomes. *Journal of Interprofessional Care*, 28(3), 262-268.
42. World Health Organization. (2016). Framework for Action on Interprofessional Education and Collaborative Practice. WHO. Retrieved from: WHO Website.
43. Rungta, S., & Kumar, D. (2022). Future of medical education: E-learning and virtual reality in medical education. *Journal of Education and Health Promotion*, 11, 92.
44. *Nieder G. L. and Nagy F.(2012) Analysis of medical students' use of web-based resources for a gross anatomy and embryology course. ClinAnat. 15(6), pp.409–418.*
45. *O'Daniel M. and Rosenstein A. H.(2008) Chapter 33 Professional Communication and Team Collaboration.In: Hughes R.G.(eds). Patient Safety and Quality: An Evidence-Based Handbook for Nurses.*
46. *Pant S., Deshmukh A., Murugiah K., Kumar G., et al. (2012) Assessing the credibility of the "YouTube approach" to health information on acute myocardial infarction. ClinCardiol. 35(5), pp.281–285.*
47. *Papanna K., Kulkarni V., Tanvi D., Lakshmi V., et al. (2012) Perceptions and preferences of medical students regarding teaching methods in a Medical College, Mangalore India. African Health Sciences. 13(3), pp.808–813.*
48. *Ramnanan C. J. and Pound L. D.(2017) Advances in medical education and practice: student perceptions of the flipped classroom. Advances in Medical Education and Practice. 2017(8), pp.63–73.*
49. *Redshaw C. H. and Frampton I.(2014) Optimising inter-disciplinary problem-based learning in postgraduate environmental and science education: Recommendations from a case study. International Journal of Environmental & Science Education. 9, pp.97–110.*
50. *Rennie F. and Morrison T.(2013) E-learning and social networking handbook. Routledge (NY): Resources for Higher Education.*
51. *Sánchez-Mendiola M., Kieffer-Escobar L. F., Marín-Beltrán S., Downing S. M., et al. (2012) Teaching of evidence-based medicine to medical students in Mexico: a randomized controlled trial. BMC Medical Education. 12(107), pp.1–14.*
52. *Sarıhan A., Oray N. C., Güllüpınar B., Yanturali S., et al. (2016) The comparison of the efficiency of traditional lectures to video-supported lectures within the training of the Emergency Medicine residents. Turkish Journal of Emergency Medicine. 16(3), pp.107–111.*
53. *Saville B. K., Zinn T. E., Neef N. A., Van Norman R., et al. (2006) A Comparison of Interteaching and Lecture in the College Classroom. Journal of Applied Behavior Analysis. 39(1), pp.49–61.*
54. *Scicluna H. A., O'Sullivan A. J., Boyle P., Jones P. D., et al. (2015) Peer learning in the UNSW Medicine program. BMC Medical Education. 15(167), pp.1–9.*

55. Thistlethwaite JE, Davis M. Interprofessional learning: a systematic review of the evidence. Med Educ. 2013;47(3):256–267.
56. Woods DR. Problem-based learning: how to gain the most from PBL. Hamilton: PBL Associates; 2000.
57. Reeves S, Zwarenstein M, Goldman J, Barr H, Freeth D, Hammick M, et al. The effectiveness of interprofessional education: key findings from a new systematic review. J Interprof Care. 2010;24(3):230–241.
58. Swanwick T, editor. Understanding medical education: evidence, theory and practice. 2nd ed. Oxford: Wiley-Blackwell; 2014.
59. Taylor DCM, Hamdy H. Adult learning theories: implications for learning and teaching in medical education: AMEE Guide No. 83. Med Teach. 2013;35(11):e1561–e1572.
60. Cook DA, Triola MM. Web-based learning in the health professions: a meta-analysis. JAMA. 2014;302(12):1297–1305.
61. Dolmans DHJM, De Grave W, Wolfhagen IHAP, Van Der Vleuten CPM. Problem-based learning: future challenges for educational practice and research. Med Educ. 2005;39(7):732–741.
62. Frenk J, Chen L, Bhutta ZA, Cohen J, Crisp N, Evans T, et al. Health professionals for a new century: transforming education to strengthen health systems. Lancet. 2010;376(9756):1923–1958.
63. Harden RM, Crosby J. AMEE Guide No. 20: The good teacher is more than a lecturer – the twelve roles of the teacher. Med Teach. 2000;22(4):334–347.
64. Liaw SY, Chan SWC. Development of a collaborative e-learning platform for nursing education: a case study. Nurse Educ Today. 2013;33(8):1013–1017.
65. Ramnanan CJ, Pound LD. Advances in medical education and practice: student perceptions of the flipped classroom. Adv Med Educ Pract. 2017;8:63–73.
66. Sulashvili N, Beglaryan M. THE SCIENTIFIC DISCUSSION OF KEY ISSUE ASPECTS OF MODERN ADVANCING INNOVATION OF LEARNING AND TEACHING METHODS AND PEDAGOGICAL APPROACHES IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS IN MEDICAL EDUCATIONAL STUDY PROGRAMS DIRECTIONS GLOBALLY IN GENERAL. Scientific Journal "SPECTRI". 2024;10(2):1-23.
67. Sulashvili N, Alavidze N, Buleishvili M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Sulashvili M, et al. THE MANIFESTATION OF KEY ISSUE FEATURES OF GLOBAL PERSPECTIVES ON INNOVATIVE TEACHING AND LEARNING APPROACH STRATEGIES IN HIGHER MEDICAL EDUCATION: ADVANCING STUDENT-CENTERED PRACTICES, TECHNOLOGY INTEGRATION AND COMPETENCY-BASED FRAMEWORKS. Scientific Journal "SPECTRI". 2024;10(2):1-18.
68. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Chichoyan N, Gabunia L, Kvizhinadze N, et al. THE SCIENTIFIC TALKS OF MANIFESTATION OF PECULIARITIES OF PHARMACIST PROFESSION, MODERN PROFESSIONAL CHALLENGES, PHARMACEUTICAL SCIENCES, EDUCATION, PROSPECTS, INNOVATIONS AND SOCIETY. In: CONGRESS BOOK; THE 6-th INTERNATIONAL SCIENTIFIC RESEARCHES AND INNOVATION CONGRESS. Ankara: Iksad Publications; 2023. p. 632-54.
69. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Chichoyan N, Gabunia L, Seniuk I, et al. THE KEY ISSUE OF MANIFESTATION OF MODERN ASPECTS OF ACHIEVEMENTS OF PHARMACISTS PROFESSION, PHARMACEUTICAL EDUCATION, SCIENCE AND ORGANIZATIONAL ASPECTS OF PHARMACEUTICS IN GEORGIA. In: MATERIALS

Of II Scientific and Practical International Conference On The Topic- "Modern Aspects of Achievements Fundamental and Applied Medical and Biological Areas Medical and Pharmaceutical Education and Science". Kharkiv: Kharkiv National Medical University; 2023. p. 271-88.

70. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Chichoyan N, Gabunia L, Seniuk I, et al. THE SCIENTIFIC TALKS OF THE MANIFESTATION OF PHARMACISTS NEW ENGAGEMENT, PURPOSE, INVOLVEMENT, CHALLENGES, PROFESSIONAL DEVELOPMENT, PERSPECTIVES AND MODERN TRENDS IMPLEMENTATION IN PHARMACY EDUCATION, ACCORDING NEW IMPEDIMENTS IN XXI CENTURY IN THE DOMESTIC AND INTERNATIONAL CONTEXT IN GENERAL. In: MATERIALS OF THE III International Scientific and Practical Conference, Dedicated to the 40th Anniversary of the Foundation of the Department of Organization, Economics and Management of Pharmacy. Kharkiv: National Pharmacy University of Ukraine; 2024. p. 370-80.

71. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, Sulashvili M, et al. THE SCIENTIFIC TALKS OF THE MANIFESTATION OF THE KEY ISSUE ASPECTS OF DEVELOPMENT OF DIGITAL COMPETENCES AND PERSPECTIVE CAPACITY OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MEDICINE, IN PHARMACY AND IN PHARMACOTHERAPY IN THE DOMESTIC AND INTERNATIONAL CONTEXT IN GENERAL. In: MATERIALS OF THE III International Scientific and Practical Conference, Dedicated to the 40th Anniversary of the Foundation of the Department of Organization, Economics and Management of Pharmacy. Kharkiv: National Pharmacy University of Ukraine; 2024. p. 414-27.

72. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Chichoyan N, Gabunia L, Seniuk I, et al. THE SCIENTIFIC TALKS OF MANIFESTATION OF THE KEY ISSUE ASPECTS OF DEVELOPMENT OF DIGITAL COMPETENCES AND PERSPECTIVE CAPACITY OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MEDICINE, IN PHARMACY AND IN PHARMACOTHERAPY IN THE DOMESTIC AND INTERNATIONAL CONTEXT IN GENERAL. In: MATERIALS OF THE III International Scientific and Practical Conference, Dedicated to the 40th Anniversary of the Foundation of the Department of Organization, Economics and Management of Pharmacy. Kharkiv: National Pharmacy University of Ukraine; 2024. p. 414-27.

73. Sulashvili N, Alavidze N, Buleishvili M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Sulashvili M, et al. THE FEATURES AND CHALLENGES OF MODERN TEACHING AND LEARNING METHODS AND CONTEMPORARY PEDAGOGICAL APPROACHES IN PHARMACEUTICAL STUDY PROGRAMS IN HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS IN GENERAL. In: Materials of the III Scientific and Practical International Conference, "MICROBIOLOGICAL AND IMMUNOLOGICAL RESEARCH IN MODERN MEDICINE". Kharkiv: National University of Pharmacy of Ukraine; 2025. p. 51-3.

74. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, Sulashvili M, et al. THE SCIENTIFIC DISCOURSE OF KEY ISSUE ASPECTS OF FEATURES OF CANDIDA PROBLEMS, ANTIFUNGAL DRUGS RESISTANCE CONCERNS, MYCOTOXICOLOGY ISSUES, MYCOECOLOGY, BIOSAFETY RISKS AND EMERGING SOLUTIONS. In: Proceedings of the 9th International Scientific Conference- «Modern Scientific Method No.9 (2025)». Vienna: University of Vienna; 2025. p. 136-65.

75. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, Sulashvili M, et al. THE MANIFESTATION OF KEY ISSUE FEATURES OF GLOBAL PERSPECTIVES ON INNOVATIVE TEACHING AND LEARNING APPROACH STRATEGIES IN HIGHER

MEDICAL EDUCATION: ADVANCING STUDENT-CENTERED PRACTICES, TECHNOLOGY INTEGRATION AND COMPETENCY-BASED FRAMEWORKS. Scientific Journal "SPECTRI". 2024;10(2):1-18.
76. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, Sulashvili M, et al. THE SCIENTIFIC DISCOURSE OF KEY ISSUE ASPECTS OF MODERN ADVANCING INNOVATION OF LEARNING AND TEACHING METHODS AND PEDAGOGICAL APPROACHES IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS IN MEDICAL EDUCATIONAL STUDY PROGRAMS DIRECTIONS GLOBALLY IN GENERAL. Scientific Journal "SPECTRI". 2024;10(2):1-23.
77. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, Sulashvili M, et al. THE SCIENTIFIC DISCOURSE OF EXPLORING THE APPLICATION OF CONTEMPORARY EDUCATIONAL PRACTICES IN UNIVERSITY LEVEL MEDICAL-PHARMACEUTICAL TRAINING AROUND THE WORLD. In: BOOK of Publications of II International Scientific and Practical Conference- "MODERN ACHIEVEMENTS OF EXPERIMENTAL, CLINICAL, ENVIRONMENTAL BIOCHEMISTRY AND MOLECULAR BIOLOGY". Kharkiv: National University of Pharmacy of Ukraine; 2025. p. 312-63.
78. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, Sulashvili M, et al. ACADEMIC DISCOURSE ON THE EXPRESSION OF INTERNATIONAL APPROACHES TO INNOVATIVE PEDAGOGICAL EXCELLENCE AND THEIR TRANSFORMATIVE INFLUENCE ON THE PROGRESS OF HIGHER MEDICAL EDUCATION GLOBALLY. In: PROCEEDINGS OF IV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE, DEDICATED TO THE MEMORY OF PROF. VALENTIN MIKHAILOVICH TOLOCHKO. Kharkiv: NUPh; 2025. p. 410-83.
79. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Chichoyan N, Gabunia L, Seniuk I, et al. THE SCIENTIFIC DISCOURSE ON HIGHER MEDICAL EDUCATION IN THE 21ST CENTURY: INNOVATIONS, CHALLENGES, COMPETENCY DEVELOPMENT, AND FUTURE DIRECTIONS IN DIGITAL TRANSFORMATION, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, GLOBAL HEALTH, AND SUSTAINABLE HEALTHCARE SYSTEMS. In: PROCEEDINGS BOOK OF 13th INTERNATIONAL BLACK SEA COASTLINE COUNTRIES SCIENTIFIC RESEARCH CONFERENCE. Zonguldak: Liberty Publishing House; 2026. p. 554-601.
80. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, Sulashvili M, et al. THE SCIENTIFIC PERSPECTIVES ON NEXT-GENERATION LEARNING OUTCOME ASSESSMENT IN INTEGRATED MEDICAL EDUCATION: ADVANCING EVIDENCE-COMPETENCY-BASED EDUCATION THROUGH LEARNING ANALYTICS, CLINICAL REASONING, ENTRUSTABLE PROFESSIONAL ACTIVITIES, PROGRAMMATIC ASSESSMENT, PRECISION EDUCATION AND CONTINUOUS QUALITY IMPROVEMENT. In: PROCEEDINGS OF 13th INTERNATIONAL HASANKEYF SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS. Batman: ISARC International Science and Art Research Center; 2026. p. 503-57.
81. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Chichoyan N, Gabunia L, Seniuk I, et al. THE SCIENTIFIC PERSPECTIVES ON NEXT-GENERATION LEARNING OUTCOME ASSESSMENT IN INTEGRATED MEDICAL EDUCATION: ADVANCING EVIDENCE-COMPETENCY-BASED EDUCATION THROUGH LEARNING ANALYTICS, CLINICAL REASONING, ENTRUSTABLE PROFESSIONAL ACTIVITIES, PROGRAMMATIC ASSESSMENT, PRECISION EDUCATION AND CONTINUOUS QUALITY

IMPROVEMENT. In: PROCEEDINGS OF 13th INTERNATIONAL HASANKEYF SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS. Batman: ISARC International Science and Art Research Center; 2026. p. 503-57.
82. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, Sulashvili M, et al. THE SCIENTIFIC DISCOURSE ON HIGHER MEDICAL EDUCATION IN THE 21ST CENTURY: INNOVATIONS, CHALLENGES, COMPETENCY DEVELOPMENT, AND FUTURE DIRECTIONS IN DIGITAL TRANSFORMATION, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, GLOBAL HEALTH, AND SUSTAINABLE HEALTHCARE SYSTEMS. In: PROCEEDINGS BOOK OF 13th INTERNATIONAL BLACK SEA COASTLINE COUNTRIES SCIENTIFIC RESEARCH CONFERENCE. Zonguldak: Liberty Publishing House; 2026. p. 554-601.
83. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, Sulashvili M, et al. ACADEMIC DISCOURSE ON THE EXPRESSION OF INTERNATIONAL APPROACHES TO INNOVATIVE PEDAGOGICAL EXCELLENCE AND THEIR TRANSFORMATIVE INFLUENCE ON THE PROGRESS OF HIGHER MEDICAL EDUCATION GLOBALLY. In: PROCEEDINGS OF IV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE, DEDICATED TO THE MEMORY OF PROF. VALENTIN MIKHAILOVICH TOLOCHKO. Kharkiv: NUPh; 2025. p. 410-83.
84. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, Sulashvili M, et al. THE SCIENTIFIC DISCOURSE OF EXPLORING THE APPLICATION OF CONTEMPORARY EDUCATIONAL PRACTICES IN UNIVERSITY LEVEL MEDICAL-PHARMACEUTICAL TRAINING AROUND THE WORLD. In: BOOK of Publications of II International Scientific and Practical Conference- "MODERN ACHIEVEMENTS OF EXPERIMENTAL, CLINICAL, ENVIRONMENTAL BIOCHEMISTRY AND MOLECULAR BIOLOGY". Kharkiv: National University of Pharmacy of Ukraine; 2025. p. 312-63.
85. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, Sulashvili M, et al. THE SCIENTIFIC DISCOURSE OF KEY ISSUE ASPECTS OF MODERN ADVANCING INNOVATION OF LEARNING AND TEACHING METHODS AND PEDAGOGICAL APPROACHES IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS IN MEDICAL EDUCATIONAL STUDY PROGRAMS DIRECTIONS GLOBALLY IN GENERAL. Scientific Journal "SPECTRI". 2024;10(2):1-23.
86. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, Sulashvili M, et al. THE MANIFESTATION OF KEY ISSUE FEATURES OF GLOBAL PERSPECTIVES ON INNOVATIVE TEACHING AND LEARNING APPROACH STRATEGIES IN HIGHER MEDICAL EDUCATION: ADVANCING STUDENT-CENTERED PRACTICES, TECHNOLOGY INTEGRATION AND COMPETENCY-BASED FRAMEWORKS. Scientific Journal "SPECTRI". 2024;10(2):1-18.
87. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, Sulashvili M, et al. THE FEATURES AND CHALLENGES OF MODERN TEACHING AND LEARNING METHODS AND CONTEMPORARY PEDAGOGICAL APPROACHES IN PHARMACEUTICAL STUDY PROGRAMS IN HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS IN GENERAL. In: Materials of the III Scientific and Practical International Conference, "MICROBIOLOGICAL AND IMMUNOLOGICAL RESEARCH IN MODERN MEDICINE". Kharkiv: National University of Pharmacy of Ukraine; 2025. p. 51-3.
88. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, Sulashvili M, et al. THE SCIENTIFIC TALKS OF THE MANIFESTATION OF THE KEY ISSUE ASPECTS OF

DEVELOPMENT OF DIGITAL COMPETENCES AND PERSPECTIVE CAPACITY OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MEDICINE, IN PHARMACY AND IN PHARMACOTHERAPY IN THE DOMESTIC AND INTERNATIONAL CONTEXT IN GENERAL. In: MATERIALS OF THE III International Scientific and Practical Conference, Dedicated to the 40th Anniversary of the Foundation of the Department of Organization, Economics and Management of Pharmacy. Kharkiv: National Pharmacy University of Ukraine; 2024. p. 414-27.

89. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Chichoyan N, Gabunia L, Seniuk I, et al. THE SCIENTIFIC TALKS OF THE MANIFESTATION OF PHARMACISTS NEW ENGAGEMENT, PURPOSE, INVOLVEMENT, CHALLENGES, PROFESSIONAL DEVELOPMENT, PERSPECTIVES AND MODERN TRENDS IMPLEMENTATION IN PHARMACY EDUCATION, ACCORDING NEW IMPEDIMENTS IN XXI CENTURY IN THE DOMESTIC AND INTERNATIONAL CONTEXT IN GENERAL. In: MATERIALS OF THE III International Scientific and Practical Conference, Dedicated to the 40th Anniversary of the Foundation of the Department of Organization, Economics and Management of Pharmacy. Kharkiv: National Pharmacy University of Ukraine; 2024. p. 370-80.

90. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Chichoyan N, Gabunia L, Seniuk I, et al. THE KEY ISSUE OF MANIFESTATION OF MODERN ASPECTS OF ACHIEVEMENTS OF PHARMACISTS PROFESSION, PHARMACEUTICAL EDUCATION, SCIENCE AND ORGANIZATIONAL ASPECTS OF PHARMACEUTICS IN GEORGIA. In: MATERIALS Of II Scientific and Practical International Conference On The Topic- "Modern Aspects of Achievements Fundamental and Applied Medical and Biological Areas Medical and Pharmaceutical Education and Science". Kharkiv: Kharkiv National Medical University; 2023. p. 271-88.

91. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Chichoyan N, Gabunia L, Kvizhinadze N, et al. THE SCIENTIFIC TALKS OF MANIFESTATION OF PECULIARITIES OF PHARMACIST PROFESSION, MODERN PROFESSIONAL CHALLENGES, PHARMACEUTICAL SCIENCES, EDUCATION, PROSPECTS, INNOVATIONS AND SOCIETY. In: CONGRESS BOOK; THE 6-th INTERNATIONAL SCIENTIFIC RESEARCHES AND INNOVATION CONGRESS. Ankara: Iksad Publications; 2023. p. 632-54.

92. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Chichoyan N, Gabunia L, Seniuk I, et al. THE SCIENTIFIC DISCUSSION OF KEY ISSUE ASPECTS OF MODERN ADVANCING INNOVATION OF LEARNING AND TEACHING METHODS AND PEDAGOGICAL APPROACHES IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS IN MEDICAL EDUCATIONAL STUDY PROGRAMS DIRECTIONS GLOBALLY IN GENERAL. Scientific Journal "SPECTRI". 2024;10(2):1-23.

93. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, Sulashvili M, et al. THE SCIENTIFIC DISCOURSE OF KEY ISSUE ASPECTS OF FEATURES OF CANDIDA PROBLEMS, ANTIFUNGAL DRUGS RESISTANCE CONCERNS, MYCOTOXICOLOGY ISSUES, MYCOECOLOGY, BIOSAFETY RISKS AND EMERGING SOLUTIONS. In: Proceedings of the 9th International Scientific Conference- «Modern Scientific Method No.9 (2025)». Vienna: University of Vienna; 2025. p. 136-65.

94. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, Sulashvili M, et al. THE MANIFESTATION OF KEY ISSUE FEATURES OF GLOBAL PERSPECTIVES ON INNOVATIVE TEACHING AND LEARNING APPROACH STRATEGIES IN HIGHER MEDICAL EDUCATION: ADVANCING STUDENT-CENTERED PRACTICES,

TECHNOLOGY INTEGRATION AND COMPETENCY-BASED FRAMEWORKS. Scientific Journal "SPECTRI". 2024;10(2):1-18.
95. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, Sulashvili M, et al. ACADEMIC DISCOURSE ON THE EXPRESSION OF INTERNATIONAL APPROACHES TO INNOVATIVE PEDAGOGICAL EXCELLENCE AND THEIR TRANSFORMATIVE INFLUENCE ON THE PROGRESS OF HIGHER MEDICAL EDUCATION GLOBALLY. In: PROCEEDINGS OF IV INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND PRACTICAL CONFERENCE, DEDICATED TO THE MEMORY OF PROF. VALENTIN MIKHAILOVICH TOLOCHKO. Kharkiv: NUPh; 2025. p. 410-83.
96. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, Sulashvili M, et al. THE SCIENTIFIC DISCOURSE ON HIGHER MEDICAL EDUCATION IN THE 21ST CENTURY: INNOVATIONS, CHALLENGES, COMPETENCY DEVELOPMENT, AND FUTURE DIRECTIONS IN DIGITAL TRANSFORMATION, ARTIFICIAL INTELLIGENCE, GLOBAL HEALTH, AND SUSTAINABLE HEALTHCARE SYSTEMS. In: PROCEEDINGS BOOK OF 13th INTERNATIONAL BLACK SEA COASTLINE COUNTRIES SCIENTIFIC RESEARCH CONFERENCE. Zonguldak: Liberty Publishing House; 2026. p. 554-601.
97. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, Sulashvili M, et al. THE SCIENTIFIC PERSPECTIVES ON NEXT-GENERATION LEARNING OUTCOME ASSESSMENT IN INTEGRATED MEDICAL EDUCATION: ADVANCING EVIDENCE-COMPETENCY-BASED EDUCATION THROUGH LEARNING ANALYTICS, CLINICAL REASONING, ENTRUSTABLE PROFESSIONAL ACTIVITIES, PROGRAMMATIC ASSESSMENT, PRECISION EDUCATION AND CONTINUOUS QUALITY IMPROVEMENT. In: PROCEEDINGS OF 13th INTERNATIONAL HASANKEYF SCIENTIFIC RESEARCH AND INNOVATION CONGRESS. Batman: ISARC International Science and Art Research Center; 2026. p. 503-57.
98. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, Sulashvili M, et al. THE SCIENTIFIC DISCOURSE OF EXPLORING THE APPLICATION OF CONTEMPORARY EDUCATIONAL PRACTICES IN UNIVERSITY LEVEL MEDICAL-PHARMACEUTICAL TRAINING AROUND THE WORLD. In: BOOK of Publications of II International Scientific and Practical Conference- "MODERN ACHIEVEMENTS OF EXPERIMENTAL, CLINICAL, ENVIRONMENTAL BIOCHEMISTRY AND MOLECULAR BIOLOGY". Kharkiv: National University of Pharmacy of Ukraine; 2025. p. 312-63.
99. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Gabunia L, Alavidze N, Sulashvili M, et al. THE FEATURES AND CHALLENGES OF MODERN TEACHING AND LEARNING METHODS AND CONTEMPORARY PEDAGOGICAL APPROACHES IN PHARMACEUTICAL STUDY PROGRAMS IN HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS IN GENERAL. In: Materials of the III Scientific and Practical International Conference, "MICROBIOLOGICAL AND IMMUNOLOGICAL RESEARCH IN MODERN MEDICINE". Kharkiv: National University of Pharmacy of Ukraine; 2025. p. 51-3.
100. Sulashvili N, Beglaryan M, Gorgaslidze N, Chichoyan N, Gabunia L, Seniuk I, et al. THE SCIENTIFIC TALKS OF THE MANIFESTATION OF PHARMACISTS NEW ENGAGEMENT, PURPOSE, INVOLVEMENT, CHALLENGES, PROFESSIONAL DEVELOPMENT, PERSPECTIVES AND MODERN TRENDS IMPLEMENTATION IN PHARMACY EDUCATION, ACCORDING NEW IMPEDIMENTS IN XXI CENTURY IN THE DOMESTIC AND INTERNATIONAL CONTEXT IN GENERAL. In: MATERIALS OF

THE III International Scientific and Practical Conference, Dedicated to the 40th Anniversary of the Foundation of the Department of Organization, Economics and Management of Pharmacy. Kharkiv: National Pharmacy University of Ukraine; 2024. p. 370-80.
101. Alharbi NS. Evaluating competency-based medical education: a systematized review of current practices. BMC Med Educ. 2024;24:612.
102. Aldriwesh MG, Alyousif SM, Alharbi NS. Undergraduate-level teaching and learning approaches for interprofessional education in the health professions: a systematic review. BMC Med Educ. 2022;22:13.
103. Bogossian F, New K, George K, Barr N, Dodd N, Hamilton AL, et al. The implementation of interprofessional education: a scoping review. Adv Health Sci Educ Theory Pract. 2023;28:243-277.
104. Tan AS, Lew YT, Ang MQ, Koh SSL. Effectiveness of interprofessional education for medical and nursing professionals and students on interprofessional educational outcomes: a systematic review. Nurse Educ Pract. 2024;74:103864.
105. Saragih ID, Suarilah I, Hsiao CT, Fann WC, Lee BO. Interdisciplinary simulation-based teaching and learning for healthcare professionals: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Nurse Educ Pract. 2024;76:103920.
106. Elendu C, Amaechi DC, Okatta AU, Amaechi EC, et al. The impact of simulation-based training in medical education: a review. Medicine (Baltimore). 2024;103(27).
107. McGee RG, Wark S, Mwangi F, Drovandi A, Alele F, Malau-Aduli BS, et al. Digital learning of clinical skills and its impact on medical students' academic performance: a systematic review. BMC Med Educ. 2024;24:1477.
108. Tozsin A, Ucmak H, Soyturk S, Aydin A, Gozen AS, Al Fahim M, et al. The role of artificial intelligence in medical education: a systematic review. Surg Innov. 2024;31(4):415-423.
109. Gordon M, Daniel M, Ajiboye A, Uraiby H, Xu NY, Bartlett R, et al. A scoping review of artificial intelligence in medical education: BEME Guide No. 84. Med Teach. 2024;46(4):446-470.
110. Pupic N, Ghaffari-Zadeh A, Hu R, Singla R, Darras K, Karwowska A, et al. An evidence-based approach to artificial intelligence education for medical students: a systematic review. PLOS Digit Health. 2023;2(11).
111. Sun L, Yin C, Xu Q, Zhao W. Artificial intelligence for healthcare and medical education: a systematic review. Am J Transl Res. 2023;15(7):4820-4828.
112. Lucas HC, Upperman JS, Robinson JR. A systematic review of large language models and their implications in medical education. Med Educ. 2024;58(11):1276-1285.
113. Kim HY, Kim EY. Effects of medical education program using virtual reality: a systematic review and meta-analysis. Int J Environ Res Public Health. 2023;20(5):3895.
114. Foronda CL, Gonzalez L, Meese MM, Slamon N, Baluyot M, Lee J, et al. A comparison of virtual reality to traditional simulation in health professions education: a systematic review. Simul Healthc. 2024;19(1S).
115. Tene T, Vique López DF, Valverde Aguirre PE, Orna Puente LM, Vacacela Gomez C. Virtual reality and augmented reality in medical education: an umbrella review. Front Digit Health. 2024;6:1365345.
116. García-Robles P, Cortés-Pérez I, Nieto-Escámez FA, García-López H, Obrero-Gaitán E, Osuna-Pérez MC. Immersive virtual reality and augmented reality in anatomy education: a systematic review and meta-analysis. Anat Sci Educ. 2024;17(3):514-528.

117. Gupta SK, Srivastava T. Assessment in undergraduate competency-based medical education: a systematic review. Cureus. 2024;16(4).
118. Herx-Weaver A, Bajwa M, Palaganas JC. Prelicensure simulation as a platform for interprofessional education: a systematic review update of the 2016-2021 literature. J Interprof Educ Pract. 2024;35:100702.
119. Lee S, Kim MC, Kim J. The status of interprofessional education for healthcare students in South Korea: a scoping review focusing on simulation-based education. Korean J Med Educ. 2024;36(3):303-314.
120. Saragih ID, Suarilah I, Hsiao CT, Fann WC, Lee BO. Interdisciplinary simulation-based teaching and learning for healthcare professionals: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. Nurse Educ Pract. 2024;76:103920.

THE INTEGRATED SCIENTIFIC APPRAISAL OF ANTICANCER VACCINE PHARMACOLOGY AND PHARMACOTHERAPY: EVIDENCE-BASED THERAPEUTIC EFFICACY, TOXICITY PROFILING, PHARMACOVIGILANCE, IMMUNOSAFETY, MOLECULAR PRECISION, THERAPEUTIC BENEFIT–RISK ASSESSMENT, CLINICAL OUTCOME OPTIMIZATION, PATIENT-CENTERED CARE, CLINICAL RESPONSE, SURVIVAL OUTCOMES, TREATMENT MONITORING AND REAL-WORLD EFFECTIVENESS

Nodar Sulashvili
Nana Gorgaslidze
Diego Rada Fernandez de Jauregui
Maka Buleishvili
Mariam Darbaidze
Nato Alavidze
Marika Sulashvili
Irina Imerlishvili
Marina Giorgobiani
Ketevani Gabunia
Vira Kravchenko
Olga Shapoval
Igor Seniuk
Nana Mdinaradze
Nino Abuladze
Giorgi Pkhakadze
Magda Davitashvili
Zaza Khachiperadze

MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical and Pharmacological Sciences In Medicine, Affiliated Professor of Faculty of Medicine at Georgian International University GIU; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of Faculty of Medicine at BAU International University Batumi; Professor of Pharmacology of Faculty of Medicine at Georgian National University SEU; Invited Professor/Lecturer of Scientific Research-Skills Center at Tbilisi State Medical University; Invited Lecturer of Clinical Pharmacology Department at Tbilisi State Medical University; Scientific Researcher, Best, Top Academic Scientist - Europe, Worldwide; Associate Professor of Biochemistry and Pharmacology Direction of School of Health Sciences at The University of Georgia; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of International School of Medicine at Alte University; Tbilisi, Georgia; Scientific Researcher of Yerevan State Medical University After Mkhitar Heratsi, Yerevan, Republic of Armenia; Former Scientific Researcher and Clinical Pharmacologist of London Lewisham University Hospital, London, England, United Kingdom of Great Britain and Northern Ireland; https://orcid.org/0000-0002-9005-8577

1. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Academician, Professor of Tbilisi State Medical University, Head of The Department of Social and Clinical Pharmacy, Tbilisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0002-4563-5224

2. PhD and BSc in Pharmacy, MSc in Research Methodology in Health Sciences, Professor, Pharmacy Faculty, University of the Basque Country, Spain. https://orcid.org/0000-0002-9109-1088

3. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor of Faculty of Medicine at Georgian International University GIU, Dean of Faculty of Medicine at Georgian International University GIU, Professor of Faculty of Medicine at Georgian National University SEU, Professor of Faculty of Medicine at European University, Professor of Faculty of Medicine at Caucasus International University, Professor of Faculty of Medicine at Georgian-American University, Invited Lecturer of Tbilisi State Medical University, Tbilisi, Georgia; Professor of Faculty of Medicine at BAU International University Batumi, https://orcid.org/0009-0004-2657-8473
4. MD, PhD, Doctor of Biological Sciences, Professor of Georgian International University GIU, Vice Rector of Georgian International University GIU; Professor of Georgian National University SEU; Tbilisi, Georgia; https://orcid.org/0009-0005-0275-4222
5. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor of Akaki Tsereteli State University, Faculty of Medicine, Department of Stomatology and Pharmacy, Kutaisi, Georgia; Professor of Faculty of Health Sciences at East European University (EEU), Head of The Medical Doctor Degree Program of Faculty of Healthcare Sciences at East European University (EEU), Tbilisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0001-6695-5924
6. MD, Doctor of Family Medicine, Invited Lecturer of Tbilisi State Medical University, Lecturer of Department of Molecular and Medical Genetics, Invited Professor of Biochemistry and Molecular and Medical Genetics at The University of Georgia. Tbilisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0002-6338-4262
7. PhD, Doctor of Law, Professor, Rector of BAU International University Batumi; Professor of BAU International University Batumi; Professor at the International Black Sea University, Batumi-Tbilisi, Georgia; https://orcid.org/0009-0008-6862-7025
8. MD, PhD, Doctor of Medical Sciences, Academician, Professor of Tbilisi State Medical University, Faculty of Public Health; Department of Hygiene and Medical Ecology, Tbilisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0003-0686-5227
9. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Academician, Professor of Akaki Tsereteli State University, Faculty of Medicine, Department of Stomatology and Pharmacy, Kutaisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0002-5857-6593;
10. MD, PhD, Doctor of Biological Sciences, Academician, Professor, Head of The Biological Chemistry Department at National University of Pharmacy of Ukraine, Kharkiv, Ukraine. https://orcid.org/0000-0001-6335-2490
11. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor of Department of Pharmacology and Medical Prescription at Kharkiv State Medical University, Kharkiv, Ukraine; https://orcid.org/0000-0002-1971-2863
12. PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Dean of faculty of Pharmacy at National University of Pharmacy of Ukraine, Associate Professor of Biological Chemistry Department at National University of Pharmacy, Kharkiv, Ukraine. https://orcid.org/0000-0003-3819-7331
MD, DDM, PhD, Doctor Medical Sciences, Professor, Head of The Quality Assurance Department at David Aghmashenebeli National Defence Academy; Invited Lecturer of Department of Human Normal Anatomy at Tbilisi State Medical University, Tbilisi, Georgia.
13. MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical Sciences, Academician, Professor of Akaki Tsereteli State University, Faculty of Medicine, Department of Stomatology and Pharmacy, Kutaisi, Georgia. https://orcid.org/0000-0003-2189-7470
14. MD, MPH, PhD, Doctor of Medical Sciences, Professor – Head of the School of Public Health at David Tvildiani Medical University, Director of Public Health Institute of Georgia (PHIG) Tbilisi, Georgia; Member of the United Nations Secretary General's Independent

Accountability Panel, Geneva, Switzerland; President, Accreditation San Frontières, Paris, France, Lviv Ukraine. https://orcid.org/0000-0001-7609-4515
PhD, Doctor of Biological Sciences, Professor, Academician at Georgian Academy of Ecological Sciences, Professor at Iakob Gogebashvili Telavi State University (TeSaU), Telavi, Georgia. https://orcid.org/0009-0005-4213-6533
15. MD, PhD(c), Ass. Professor, Vice-Dean of Medical School at Georgian American University (GAU), Ass. Professor of Faculty of Medicine at Caucasus International University, Tbilisi, Georgia.

ABSTRACT
Anticancer vaccines represent an increasingly sophisticated domain of translational oncology in which immunological engineering, molecular pharmacology, clinical pharmacotherapy, precision medicine, and systematic safety surveillance converge to redefine therapeutic strategies for malignant disease. Their contemporary development encompasses prophylactic and therapeutic vaccine platforms, tumor-associated antigen and tumor-specific antigen targeting, neoantigen-directed formulations, peptide- and protein-based constructs, nucleic-acid technologies, dendritic-cell platforms, viral vectors, whole-cell approaches, and personalized vaccine architectures designed to stimulate durable and clinically meaningful antitumor immunity. The pharmacological characterization of these interventions requires an integrated understanding of antigen processing and presentation, innate immune activation, adaptive immune priming, T-cell receptor engagement, cytokine signaling, immunological memory, tumor-microenvironment remodeling, and mechanisms underlying immune escape. Within this context, anticancer vaccine pharmacotherapy cannot be evaluated exclusively through conventional measures of tumor response; rather, therapeutic efficacy must be interpreted through multidimensional clinical, immunological, pharmacological, and patient-centered endpoints. This scientific appraisal examines the evolving pharmacology and pharmacotherapeutic applications of anticancer vaccines through an evidence-based medicine framework, emphasizing therapeutic efficacy, immunogenicity, immunosafety, toxicity profiling, pharmacovigilance, molecular precision, therapeutic benefit–risk assessment, clinical response, survival outcomes, treatment monitoring, and real-world effectiveness. Particular consideration is given to the pharmacodynamic determinants of vaccine-mediated antitumor activity, including antigen specificity, epitope selection, cross-presentation, dendritic-cell maturation, T-cell expansion, cytotoxic lymphocyte functionality, immune-checkpoint interactions, and modulation of immunosuppressive cellular networks within the tumor microenvironment. The pharmacotherapeutic implications of combining anticancer vaccines with immune-checkpoint inhibitors, targeted molecular agents, conventional cytotoxic chemotherapy, radiotherapy, cellular immunotherapies, and other multimodal treatment strategies are critically contextualized, with emphasis on synergistic mechanisms, therapeutic sequencing, treatment individualization, and potential pharmacological antagonism. An essential component of contemporary anticancer vaccine evaluation is systematic characterization of treatment-associated toxicity. Vaccine-related adverse events may range from transient local and systemic inflammatory manifestations to clinically significant immune-mediated toxicities affecting multiple organ systems. Consequently, immunosafety assessment requires rigorous differentiation between expected pharmacological effects, immune-related adverse events, treatment-emergent complications, disease-associated symptoms, and toxicities attributable to combination regimens. Pharmacovigilance therefore assumes a central role in identifying previously unrecognized safety signals, characterizing adverse-event patterns,

evaluating causality, estimating incidence and severity, monitoring temporal relationships, and determining clinically relevant benefit–risk profiles across diverse patient populations. Integration of spontaneous reporting systems, active surveillance, pharmacovigilance databases, clinical-trial safety datasets, electronic health records, pharmacoepidemiological methodologies, and real-world evidence can strengthen post-marketing and post-authorization safety evaluation. From an evidence-based medicine perspective, interpretation of anticancer vaccine effectiveness requires critical synthesis of randomized controlled trials, prospective clinical investigations, observational studies, systematic reviews, meta-analyses, translational immunology research, and real-world clinical evidence. Particular attention should be directed toward heterogeneity in patient selection, tumor histology, disease stage, molecular characteristics, antigenic landscape, previous treatment exposure, immune status, vaccine platform, dosing strategy, adjuvant composition, endpoint definitions, and duration of follow-up. Such heterogeneity substantially influences therapeutic response and complicates direct comparison among vaccine technologies. Precision-oriented pharmacotherapy consequently requires integration of genomic, transcriptomic, proteomic, immunological, and clinical information to identify patients most likely to derive meaningful benefit while minimizing avoidable treatment-related harm. Clinical outcome optimization represents the ultimate objective of anticancer vaccine pharmacotherapy. Assessment should therefore encompass objective response, disease control, progression-free survival, overall survival, duration of response, recurrence-free survival, quality of life, functional status, treatment tolerability, and patient-reported outcomes. Continuous treatment monitoring and longitudinal pharmacovigilance may facilitate early recognition of inadequate response, emerging resistance, cumulative toxicity, or clinically important immune dysregulation. Furthermore, real-world effectiveness studies are indispensable for determining whether efficacy demonstrated under controlled trial conditions translates into routine clinical practice across heterogeneous healthcare environments. The anticancer vaccines constitute a rapidly evolving pharmacotherapeutic paradigm whose scientific evaluation requires convergence of molecular pharmacology, clinical immunology, evidence-based medicine, precision oncology, toxicology, pharmacovigilance, and outcomes research. Their future clinical utility will depend not solely upon enhanced immunogenicity but upon rational pharmacological design, reproducible therapeutic efficacy, individualized patient selection, rigorous toxicity mitigation, continuous safety surveillance, clinically meaningful outcome assessment, and integration with complementary oncological modalities. A comprehensive benefit–risk framework incorporating mechanistic evidence, clinical trial data, pharmacovigilance signals, and real-world effectiveness is therefore essential for transforming innovative anticancer vaccine technologies into safe, durable, patient-centered, and clinically consequential therapeutic interventions.

Keywords: Anticancer Vaccines; Cancer Pharmacotherapy; Clinical Pharmacology; Pharmacovigilance; Evidence-Based Medicine.

INTRODUCTION

Anticancer vaccines have emerged as one of the most intellectually complex and translationally consequential components of contemporary cancer therapeutics, occupying an increasingly important interface among molecular oncology, tumor immunology, pharmacology, pharmacotherapy, precision medicine, clinical epidemiology, toxicology, and pharmacovigilance. Unlike conventional cytotoxic anticancer agents, which primarily exert direct antiproliferative or cytotoxic effects on malignant cells, anticancer vaccines are designed

to manipulate the host immune system so that endogenous immune mechanisms recognize, expand against, and eliminate neoplastic cells. This conceptual transition from pharmacologically imposed tumor-cell injury toward biologically orchestrated immune-mediated tumor control has fundamentally altered the therapeutic architecture of oncology. Anticancer vaccination is therefore not merely an extension of conventional immunotherapy but represents a pharmacologically distinctive strategy in which antigen selection, molecular formulation, delivery technology, innate immune stimulation, antigen presentation, adaptive immune activation, immunological memory, tumor microenvironmental interactions, and patient-specific biological characteristics collectively determine therapeutic performance.

The scientific rationale underlying anticancer vaccines derives from the fundamental premise that malignant transformation generates molecular abnormalities capable of distinguishing tumor cells from normal tissues. These abnormalities may involve tumor-specific mutations, aberrantly expressed proteins, overexpressed differentiation antigens, cancer-testis antigens, viral oncogenic antigens, altered post-translational products, abnormal glycosylation patterns, fusion proteins, and other molecular structures that can potentially function as immunological targets. The identification and exploitation of such antigens have progressively shifted cancer vaccine development from relatively empirical approaches toward increasingly sophisticated molecularly informed interventions. The contemporary field incorporates peptide vaccines, recombinant protein vaccines, DNA and messenger RNA platforms, viral-vector vaccines, dendritic-cell vaccines, whole-cell vaccines, tumor lysate formulations, nanoparticle-based systems, and personalized neoantigen vaccines. Each platform possesses distinct pharmacological characteristics affecting antigen stability, biodistribution, cellular uptake, antigen processing, innate immune activation, pharmacodynamic response, immunogenicity, tolerability, and clinical effectiveness.

The development of anticancer vaccines must consequently be interpreted within the broader evolution of cancer pharmacology. Modern oncology increasingly recognizes that therapeutic activity cannot be understood exclusively through drug concentration, receptor occupancy, enzymatic inhibition, or direct tumor-cell killing. Immunotherapeutic pharmacology introduces additional dimensions of pharmacodynamic complexity, including immune-cell recruitment, antigen presentation, clonal expansion, T-cell differentiation, cytokine production, immune-checkpoint signaling, immune-cell exhaustion, regulatory-cell suppression, myeloid-cell polarization, and remodeling of the tumor microenvironment. The pharmacological effect of an anticancer vaccine is therefore mediated through a dynamic biological cascade rather than through a single molecular target. Consequently, traditional pharmacological concepts such as dose–response relationships, exposure–effect relationships, therapeutic windows, and pharmacokinetic variability must be complemented by immunological biomarkers, cellular pharmacodynamics, molecular determinants of antigenicity, and longitudinal measures of immune response.

The increasing sophistication of vaccine engineering has also transformed the concept of antigen selection. Earlier cancer vaccines frequently targeted broadly expressed tumor-associated antigens, creating challenges associated with insufficient immunogenicity, antigen heterogeneity, and potential on-target effects against normal tissues. The emergence of high-

throughput sequencing and computational immunology has enabled systematic identification of tumor-specific mutations and neoantigens that may be uniquely expressed by malignant cells. Personalized neoantigen vaccine development represents a particularly important advancement because it allows vaccine composition to be adapted to the molecular architecture of an individual patient's tumor. Whole-exome sequencing, RNA sequencing, immunopeptidomic analyses, bioinformatic prediction, major histocompatibility complex binding assessment, and immunogenicity modeling can collectively contribute to antigen prioritization. This molecular personalization potentially increases tumor specificity while reducing the limitations associated with shared antigen targets.

Nevertheless, molecular precision does not automatically translate into therapeutic efficacy. Antigen expression may vary spatially and temporally within tumors, and intratumoral heterogeneity may permit subclonal populations lacking the targeted antigen to survive selective immune pressure. Furthermore, tumors can develop sophisticated mechanisms of immune evasion involving defective antigen presentation, downregulation of major histocompatibility complex molecules, impaired interferon signaling, recruitment of regulatory T cells, expansion of immunosuppressive myeloid populations, secretion of inhibitory cytokines, metabolic competition, and expression of immune-checkpoint ligands. These mechanisms illustrate why vaccine-induced antigen-specific T-cell responses may not necessarily produce durable clinical tumor control. Anticancer vaccine pharmacotherapy must therefore be considered within the biological ecosystem of the tumor rather than as an isolated intervention.

The tumor microenvironment represents one of the principal determinants of vaccine pharmacological activity. A vaccine can generate potent circulating antigen-specific lymphocytes, yet these cells may fail to adequately infiltrate malignant tissue, become functionally exhausted after entering the tumor, or encounter profound immunosuppressive conditions that limit cytotoxic activity. Hypoxia, nutrient deprivation, abnormal vascularization, suppressive metabolites, transforming growth factor-β signaling, regulatory T cells, tumor-associated macrophages, myeloid-derived suppressor cells, and inhibitory checkpoint pathways can collectively impair immune-mediated tumor elimination. Accordingly, contemporary pharmacotherapy increasingly investigates combination approaches designed to overcome these barriers. Anticancer vaccines may be combined with immune-checkpoint inhibitors, targeted therapies, chemotherapy, radiotherapy, cellular immunotherapies, cytokine-based approaches, and other immunomodulatory interventions. Such combinations potentially enhance antigen release, improve antigen presentation, reverse immunosuppression, increase T-cell infiltration, or restore effector-cell functionality.

The pharmacotherapeutic significance of these combinations extends beyond the possibility of additive or synergistic efficacy. Combination regimens may substantially modify toxicity profiles and complicate causal attribution of adverse events. Immune-checkpoint inhibitors, for example, can produce immune-related adverse events involving the skin, gastrointestinal tract, liver, endocrine organs, lungs, cardiovascular system, nervous system, kidneys, and other tissues. When vaccines are administered concurrently with other immunomodulatory

treatments, the distinction between vaccine-associated reactions, checkpoint inhibitor-associated immune toxicity, disease manifestations, infectious complications, and unrelated clinical events may become increasingly difficult. Consequently, rigorous pharmacovigilance is indispensable for establishing reliable safety profiles.

Toxicity evaluation constitutes an essential component of anticancer vaccine pharmacology rather than a secondary consideration performed after efficacy assessment. Conventional vaccine-associated reactions may include injection-site inflammation, fever, fatigue, myalgia, headache, chills, and transient systemic inflammatory symptoms. However, more complex immunological toxicities may occur depending on the vaccine platform, adjuvant system, antigenic target, treatment combination, disease context, and individual host characteristics. The increasing use of potent immune-modulating combinations further expands the spectrum of clinically relevant adverse events. A comprehensive safety framework must therefore distinguish expected pharmacological effects from serious adverse reactions, immune-mediated toxicities, hypersensitivity phenomena, cytokine-associated manifestations, organ-specific immune injury, and events emerging during prolonged treatment or follow-up.

Pharmacovigilance provides the methodological infrastructure necessary to monitor these safety dimensions throughout the entire therapeutic lifecycle. Clinical trials provide essential information regarding adverse-event frequency and severity, but their ability to identify rare, delayed, population-specific, or clinically unexpected toxicities remains limited by sample size, duration, inclusion criteria, and controlled treatment environments. Post-authorization pharmacovigilance therefore becomes particularly important when anticancer vaccines transition from experimental settings into heterogeneous real-world populations. Spontaneous adverse-event reporting systems, active surveillance programs, electronic health records, registries, insurance claims, pharmacovigilance databases, observational cohorts, and pharmacoepidemiological studies can complement randomized evidence and improve detection of emerging safety signals.

The interpretation of pharmacovigilance data in oncology is methodologically challenging. Patients with advanced cancer frequently receive multiple medications simultaneously, possess substantial comorbidity burdens, and experience disease-related symptoms that may resemble treatment-associated adverse events. Polypharmacy, concomitant chemotherapy, radiation, corticosteroids, antimicrobial therapy, analgesics, supportive medications, and other immunomodulatory agents further complicate causal attribution. A temporal association between vaccination and an adverse event does not necessarily establish causality. Robust pharmacovigilance therefore requires systematic assessment of temporal relationships, biological plausibility, alternative explanations, dechallenge and rechallenge information where available, background event rates, dose and exposure patterns, concomitant therapies, and reproducibility across independent data sources.

Evidence-based medicine provides the conceptual framework for integrating these heterogeneous forms of evidence. The clinical value of anticancer vaccines should not be determined solely by immunological surrogate endpoints or preliminary signals of tumor regression. Rather, therapeutic evaluation requires critical examination of randomized

controlled trials, comparative effectiveness studies, prospective observational research, systematic reviews, meta-analyses, translational studies, pharmacovigilance evidence, and real-world data. The hierarchy of evidence remains relevant, but oncology-specific methodological considerations require careful interpretation of endpoint selection, patient heterogeneity, trial design, comparator selection, follow-up duration, treatment crossover, biomarker stratification, and statistical power.

Clinical response represents only one dimension of anticancer vaccine effectiveness. Objective response rate, complete response, partial response, stable disease, progression-free survival, overall survival, duration of response, disease-free survival, recurrence-free survival, metastasis-free survival, and cancer-specific survival provide different perspectives on therapeutic performance. For immunotherapeutic interventions, conventional response criteria may sometimes inadequately capture delayed or atypical patterns of response. Immune-related response phenomena, transient tumor enlargement, inflammatory infiltration, or delayed disease control may complicate interpretation of imaging-based endpoints. Consequently, clinical trial methodology for anticancer vaccines increasingly requires integration of radiological, molecular, immunological, and patient-reported outcomes.

Patient-centered outcomes are similarly important. A treatment capable of producing a measurable immunological response but causing substantial toxicity, functional impairment, or deterioration in quality of life may possess limited clinical utility. Conversely, a therapy associated with moderate tumor control but durable survival, acceptable toxicity, preserved functionality, and meaningful quality-of-life benefits may provide considerable patient value. Contemporary pharmacotherapy therefore increasingly embraces benefit–risk assessment that incorporates both traditional efficacy endpoints and patient-centered outcomes. Treatment monitoring should encompass symptom burden, functional status, treatment adherence, immune-related adverse events, laboratory abnormalities, imaging findings, biomarker trajectories, and patient-reported experiences.

The principle of therapeutic benefit–risk optimization is particularly relevant to anticancer vaccine development because the therapeutic objective extends beyond maximizing immune activation. Excessive or poorly controlled immune activation can produce toxicity without necessarily increasing antitumor efficacy. An effective vaccine must therefore generate sufficiently strong and durable tumor-specific immunity while preserving immunological tolerance toward healthy tissues. This balance depends on antigen selection, formulation, adjuvant properties, route of administration, dosing schedule, combination strategy, patient immune status, and tumor biology. The therapeutic window of an anticancer vaccine is consequently determined not only by systemic exposure but also by the quality and specificity of the induced immune response.

Clinical pharmacology provides an important bridge between experimental vaccine development and patient-centered pharmacotherapy. Pharmacological characterization should consider formulation, dose, administration route, dosing interval, immunogenicity, pharmacodynamic biomarkers, immune-cell kinetics, antibody and T-cell responses, potential drug interactions, and the influence of concomitant medications. Corticosteroids and other

immunosuppressive agents, for example, may modify vaccine-induced immune responses, while other anticancer therapies may alter antigen release or immune-cell activation. Understanding these interactions is necessary for rational treatment sequencing and individualized therapeutic planning.

Precision oncology further extends this framework by integrating genomic and immunological information into treatment selection. The molecular characteristics of a tumor may determine the abundance and quality of potential neoantigens, antigen-processing capacity, mutational burden, HLA genotype, immune-cell infiltration, checkpoint expression, and susceptibility to immune-mediated elimination. These variables can influence both probability of response and risk of toxicity. Personalized anticancer vaccines consequently represent an important manifestation of precision pharmacotherapy, although their clinical implementation remains constrained by manufacturing complexity, production time, computational uncertainty, tissue sampling requirements, regulatory considerations, cost, and equitable access.

The pharmacoeconomic dimension should not be overlooked. Highly individualized vaccine production may require sophisticated sequencing, bioinformatic analysis, peptide or nucleic-acid synthesis, quality control, and specialized clinical infrastructure. These processes may increase manufacturing costs and prolong the interval between diagnosis and treatment initiation. The economic value of such interventions must therefore be evaluated alongside clinical effectiveness, survival benefit, quality-adjusted survival, toxicity avoidance, healthcare utilization, manufacturing expenditure, and long-term disease control. Health-system capacity and reimbursement structures may ultimately influence the accessibility and real-world implementation of personalized cancer vaccination.

Regulatory science also plays a major role in determining the translational pathway of anticancer vaccines. The increasing diversity of platforms creates challenges concerning manufacturing consistency, potency assays, quality attributes, product characterization, release criteria, pharmacological comparability, and post-marketing safety monitoring. Personalized products present additional regulatory complexities because each patient's vaccine may differ according to their individual tumor-derived antigenic profile. Standardization of manufacturing and validation procedures is therefore essential for ensuring reproducibility, quality, and patient safety.

The intersection of anticancer vaccines with evidence-based medicine also emphasizes the importance of clinically meaningful biomarker development. Immunogenicity biomarkers may demonstrate that a vaccine induces antigen-specific immune responses, but a biomarker is clinically valuable only if it reliably correlates with meaningful outcomes. Candidate biomarkers include tumor mutational burden, neoantigen burden, HLA genotype, T-cell receptor clonality, circulating immune-cell populations, cytokine signatures, immune-checkpoint expression, tumor-infiltrating lymphocytes, circulating tumor DNA, gene-expression profiles, and measures of antigen-specific cellular immunity. Their integration into pharmacological decision-making may improve patient selection and facilitate adaptive treatment strategies.

The concept of treatment monitoring is consequently expanding from conventional laboratory and radiological surveillance toward multidimensional longitudinal assessment. Monitoring may include molecular residual disease, circulating tumor DNA, immune-cell dynamics, vaccine-induced T-cell responses, antibody responses, imaging biomarkers, and patient-reported outcomes. Such information may permit earlier recognition of therapeutic benefit or failure and potentially guide modifications in treatment strategy. In this respect, anticancer vaccine pharmacotherapy is increasingly becoming a dynamic rather than static therapeutic process.

Real-world effectiveness represents another crucial component of the evidence architecture. Clinical trials typically enroll carefully selected patients under standardized conditions, whereas routine oncology practice encompasses older patients, individuals with multiple comorbidities, patients receiving polypharmacy, diverse ethnic and genetic backgrounds, variable disease stages, and heterogeneous healthcare environments. Real-world evidence can therefore reveal differences in effectiveness, adherence, toxicity, treatment discontinuation, healthcare utilization, and survival that may not be apparent in controlled trials. Linking clinical registries, pharmacovigilance systems, electronic medical records, genomic datasets, and patient-reported outcomes could provide a more comprehensive assessment of anticancer vaccine performance across the therapeutic lifecycle.

The evolution of anticancer vaccines also raises important questions regarding therapeutic sequencing. Whether vaccination should precede, accompany, or follow immune-checkpoint inhibition, chemotherapy, radiation, targeted therapy, or cellular immunotherapy may substantially affect treatment outcomes. Chemotherapy and radiation can promote immunogenic cell death and increase tumor antigen availability, potentially creating favorable conditions for vaccine-mediated immune priming. Conversely, immunosuppressive effects of particular treatments may diminish vaccine efficacy. Checkpoint blockade may enhance the functionality of vaccine-induced T cells, but may also increase the probability of immune-mediated toxicity. Rational sequencing therefore requires mechanistic understanding rather than empirical combination of multiple therapies.

The concept of immunological memory is another distinguishing characteristic of anticancer vaccination. Unlike therapies that primarily produce transient pharmacological suppression of tumor proliferation, vaccines aim to establish durable immune surveillance capable of recognizing recurrent or residual malignant cells. The clinical significance of this mechanism may be particularly important in the prevention of recurrence and maintenance of long-term disease control. Nevertheless, the durability of vaccine-induced immunity depends on antigen persistence, memory-cell development, tumor evolution, immune escape, and the continued functional integrity of the host immune system. Long-term follow-up is consequently indispensable for evaluating whether immunological responses translate into durable clinical benefit.

Cancer evolution itself creates an important pharmacological challenge. Tumors are genetically and phenotypically dynamic, and immune-mediated selection pressure may favor expansion of antigen-negative or immune-resistant clones. This phenomenon suggests that successful

vaccination strategies may require targeting multiple antigens simultaneously rather than relying on a single epitope. Multi-antigen vaccines, personalized neoantigen combinations, and adaptive vaccination strategies could potentially reduce the probability of immune escape. The pharmacological design of such approaches must balance antigenic breadth with manufacturing feasibility, immunological competition, safety, and the potential for off-target effects.

Another critical issue concerns the distinction between immunogenicity and clinical efficacy. A vaccine can induce robust antigen-specific T-cell responses without producing significant tumor regression or survival improvement. This discrepancy may reflect ineffective trafficking, tumor-cell antigen loss, immune exhaustion, suppressive microenvironmental conditions, insufficient antigen density, defective antigen presentation, or inadequate pharmacological synergy with other treatments. Therefore, the development of anticancer vaccines should not rely exclusively on immunological surrogate endpoints. Translational programs must demonstrate a coherent chain of evidence linking molecular design to immune activation, tumor engagement, clinical response, survival, and patient-centered benefit.

The pharmacological evaluation of anticancer vaccines must also account for host-specific determinants. Age, sex, genetic background, immune competence, nutritional status, prior infections, microbiome composition, previous anticancer treatments, concomitant medications, autoimmune predisposition, and comorbidities may modify immune responsiveness. These variables introduce additional heterogeneity into clinical outcomes and highlight the importance of individualized treatment models. Pharmacogenomic and immunogenomic approaches may eventually contribute to more precise prediction of vaccine responsiveness and toxicity.

The microbiome represents an increasingly relevant component of this research landscape. Intestinal microbial composition can influence immune activation, inflammatory signaling, antigen-presenting cell function, and responsiveness to immunotherapy. Antibiotic exposure and other factors capable of altering microbial ecology may consequently influence therapeutic outcomes. Although the clinical implications require further validation, integration of microbiome-associated variables into pharmacological research may ultimately enhance understanding of interindividual differences in anticancer vaccine effectiveness.

The expanding application of artificial intelligence and computational biology further contributes to vaccine development. Machine-learning algorithms can assist in neoantigen prediction, epitope ranking, HLA-binding estimation, immunogenicity modeling, patient stratification, biomarker identification, adverse-event signal detection, and outcome prediction. Artificial intelligence may also facilitate pharmacovigilance by analyzing large volumes of clinical narratives, electronic health records, spontaneous reports, and molecular datasets. However, algorithmic predictions require rigorous external validation, transparency, bias assessment, and clinical interpretability before they can be incorporated into routine therapeutic decision-making.

The integration of pharmacovigilance with artificial intelligence and real-world evidence could provide a particularly powerful approach to post-treatment safety surveillance. Automated signal detection may identify unusual adverse-event clusters more rapidly than conventional

manual review, while advanced causal-inference methods may help distinguish genuine treatment-associated signals from background disease events. Nevertheless, computational approaches cannot eliminate fundamental limitations in data quality, reporting bias, confounding, missingness, coding inconsistency, and incomplete clinical information. Human pharmacological and clinical expertise therefore remains essential for interpreting safety signals.

From a clinical pharmacotherapy perspective, the central challenge is to transform highly sophisticated vaccine technologies into interventions that produce reproducible, clinically meaningful, and sustainable patient benefit. This requires integration across the entire translational continuum—from antigen discovery and molecular engineering through preclinical pharmacology, clinical development, comparative effectiveness evaluation, toxicity characterization, regulatory assessment, pharmacovigilance, and post-market real-world monitoring. Fragmented evaluation of these components can produce misleading conclusions. A vaccine may demonstrate excellent molecular specificity but inadequate clinical efficacy; impressive immunogenicity but unacceptable toxicity; favorable trial results but limited real-world applicability; or strong short-term response without durable survival benefit. Comprehensive scientific appraisal is therefore essential.

The evidence-based evaluation of anticancer vaccines should consequently be multidimensional. Therapeutic efficacy must be examined alongside safety, tolerability, immunogenicity, pharmacological plausibility, patient selection, treatment adherence, survival, quality of life, and health-system feasibility. This approach corresponds to the contemporary movement toward value-based and patient-centered oncology, in which treatment decisions increasingly depend upon integrated assessments of clinical benefit, harm, patient preferences, resource utilization, and long-term outcomes.

An additional dimension concerns ethical considerations surrounding personalized therapeutic development. Individualized vaccine manufacturing requires access to high-quality tumor tissue, molecular sequencing, computational infrastructure, specialized production, and clinical expertise. Inequalities in access to these resources could create disparities in availability of advanced immunotherapeutic interventions. Ethical implementation therefore requires attention to informed consent, genomic privacy, data governance, equitable access, transparency regarding uncertain benefit, and appropriate communication of treatment risks. These considerations are particularly relevant as anticancer vaccines increasingly incorporate individualized molecular information.

The future of anticancer vaccine pharmacology will likely depend upon increasingly integrated therapeutic architectures rather than isolated vaccine administration. Next-generation approaches may combine personalized neoantigen targeting with checkpoint blockade, tumor-microenvironment modulation, targeted molecular therapy, radiotherapy, cellular immunotherapy, nanotechnology, and adaptive treatment monitoring. Such approaches may produce more robust and durable antitumor immunity by simultaneously addressing antigen recognition, immune activation, tumor infiltration, immune suppression, and immune escape.

The pharmacological challenge will be to optimize these interactions while maintaining a clinically acceptable therapeutic window.

Accordingly, the scientific appraisal of anticancer vaccine pharmacology and pharmacotherapy requires a conceptual framework that integrates molecular precision with clinical pragmatism. The field must move beyond the binary distinction between efficacy and toxicity toward a comprehensive assessment of therapeutic value. Such assessment encompasses the magnitude and durability of antitumor response, immunological specificity, survival outcomes, quality of life, adverse-event burden, pharmacovigilance signals, treatment feasibility, patient preferences, cost-effectiveness, and real-world applicability.

Within this context, evidence-based medicine functions not simply as a method for ranking clinical studies but as an integrative epistemological framework for determining whether emerging vaccine technologies provide reliable and clinically meaningful benefit. High-quality randomized evidence must be interpreted in conjunction with mechanistic pharmacology, translational immunology, safety science, observational research, pharmacovigilance, and real-world effectiveness. This integrated approach is especially important because anticancer vaccines occupy a rapidly evolving therapeutic domain in which scientific innovation may progress faster than conventional evidence-generation pathways.

The present scientific appraisal therefore conceptualizes anticancer vaccine pharmacology and pharmacotherapy as an interdisciplinary continuum extending from molecular antigen identification to long-term population-level safety and effectiveness. Particular emphasis is placed on evidence-based therapeutic efficacy, toxicity profiling, immunosafety, pharmacovigilance, molecular precision, therapeutic benefit–risk assessment, clinical response, survival outcomes, treatment monitoring, and real-world effectiveness. Such a framework recognizes that the ultimate value of anticancer vaccination cannot be established through immunological activity alone. Instead, successful translation requires demonstrable convergence among mechanistic validity, pharmacological effectiveness, clinical efficacy, safety, tolerability, durable outcomes, and patient-centered benefit.

In this evolving therapeutic landscape, anticancer vaccines have the potential to contribute to a paradigm shift from nonspecific tumor destruction toward precisely directed, immunologically mediated, and biologically adaptive cancer treatment. Their ultimate clinical significance, however, will depend upon the capacity of investigators and clinicians to integrate increasingly complex molecular technologies with rigorous pharmacological evaluation and robust clinical evidence. The convergence of precision oncology, clinical pharmacology, immunotherapy, toxicology, pharmacovigilance, evidence-based medicine, and real-world outcomes research provides the scientific foundation for this transition. A comprehensive understanding of these interconnected domains is therefore essential for optimizing anticancer vaccine development, improving therapeutic selection, minimizing preventable harm, strengthening safety surveillance, and translating innovative vaccine platforms into durable improvements in cancer outcomes.

The contemporary pharmacological interpretation of anticancer vaccination increasingly requires recognition that the therapeutic agent is not simply the administered vaccine

formulation but the complex biological response elicited by that formulation within a particular host and tumor ecosystem. This distinction has profound implications for pharmacological research, because conventional approaches to drug development frequently assume a relatively direct relationship between administered dose, systemic exposure, molecular target engagement, and clinical effect. In cancer vaccination, however, the administered product initiates a multistage immunobiological process involving tissue uptake, innate sensing, antigen processing, presentation through major histocompatibility complex pathways, costimulatory signaling, lymphocyte priming, clonal expansion, differentiation, trafficking, tumor recognition, effector-cell activation, and immunological memory. Each stage introduces potential biological variability and therefore creates an additional determinant of therapeutic response. Consequently, the pharmacological characterization of anticancer vaccines requires a broader conception of pharmacodynamics that incorporates cellular, molecular, immunological, and clinical dimensions.

This complexity is particularly relevant when comparing different vaccine platforms. Peptide-based vaccines may provide highly defined antigenic components and relatively straightforward manufacturing characteristics but may depend strongly on appropriate antigen presentation and host HLA compatibility. Protein-based approaches can provide broader antigenic exposure but may require potent adjuvantation to achieve adequate immunogenicity. Nucleic-acid platforms, including messenger RNA and DNA technologies, offer considerable flexibility for encoding multiple antigens and may facilitate rapid adaptation to individualized tumor profiles. Viral-vector approaches can generate substantial innate and adaptive immune stimulation but introduce considerations related to vector immunity, pre-existing immunity, and repeated administration. Dendritic-cell-based strategies attempt to manipulate professional antigen-presenting cells directly and may provide individualized biological specificity, while whole-cell approaches can theoretically present a broader antigenic repertoire. These differences demonstrate that the term “anticancer vaccine” encompasses pharmacologically heterogeneous interventions that cannot appropriately be evaluated using a single universal efficacy or safety paradigm.

The pharmacological formulation itself can substantially influence therapeutic performance. Adjuvants are particularly important because they determine the magnitude, duration, and qualitative characteristics of innate immune activation. Appropriate adjuvant selection may enhance antigen uptake, dendritic-cell maturation, cytokine signaling, and T-cell priming. However, excessive innate stimulation may increase inflammatory toxicity without producing proportional improvements in antitumor activity. The optimization of adjuvant systems therefore represents a classical pharmacological problem involving the balance between potency and tolerability. The route of administration similarly influences antigen distribution, local immune-cell recruitment, lymphatic trafficking, and systemic exposure. Intradermal, subcutaneous, intramuscular, intranodal, intravenous, and other administration strategies may produce substantially different pharmacodynamic profiles. Comparative evaluation of administration routes should therefore consider both immunological response and clinically relevant outcomes.

Dose optimization represents another unresolved dimension. The relationship between vaccine dose and immune response may not conform to a conventional monotonic dose–response curve.

Increasing antigen quantity may improve immunogenicity within a certain range but may eventually produce diminishing returns, excessive inflammation, immune regulation, or other undesirable biological effects. In addition, the optimal dose may vary according to antigen format, adjuvant composition, vaccine platform, patient immune status, tumor burden, previous therapies, and treatment combination. These considerations reinforce the need for adaptive dose-finding methodologies that incorporate immunological pharmacodynamic biomarkers rather than relying exclusively on conventional toxicity-based dose escalation.

The temporal dimension of anticancer vaccine pharmacology is equally significant. Immune priming may require substantial time before measurable clinical effects become apparent. Vaccine-induced T-cell expansion, differentiation, migration, and functional maturation may occur over periods that differ considerably from the pharmacokinetic profiles of conventional anticancer drugs. Accordingly, short-term assessment may underestimate therapeutic potential, whereas prolonged follow-up is necessary to establish durability. The kinetics of immune response may also differ among patients, with some individuals demonstrating rapid expansion of antigen-specific lymphocytes and others requiring repeated vaccination or combination treatment before clinically meaningful immune activation develops. Longitudinal pharmacodynamic assessment is therefore indispensable.

The relationship between tumor burden and vaccine responsiveness also warrants consideration. Advanced malignancies may generate a profoundly immunosuppressive environment characterized by extensive tumor-associated inflammation, regulatory-cell expansion, metabolic dysfunction, and impaired antigen presentation. High tumor burden may consequently represent both a biological and pharmacological barrier to effective vaccination. Earlier intervention, minimal residual disease settings, adjuvant treatment following definitive tumor resection, and recurrence prevention may therefore represent particularly important clinical contexts for therapeutic vaccination. In these settings, the vaccine may encounter lower levels of immunosuppressive tumor burden and may be capable of eliminating microscopic residual disease before extensive immune escape occurs.

This possibility has stimulated increasing interest in the use of anticancer vaccines as components of adjuvant and maintenance strategies. The pharmacological rationale is based on the premise that vaccination may establish durable immune surveillance capable of detecting residual malignant cells after surgery, radiation, or systemic therapy. Such an approach shifts the objective from treating established tumor masses toward preventing recurrence. However, demonstrating benefit in this setting requires long follow-up periods, large patient populations, reliable molecular residual-disease measures, and careful control of confounding variables. Recurrence-free survival, disease-free survival, and overall survival may therefore provide more informative endpoints than short-term radiological response.

The concept of molecular residual disease has particular relevance to this emerging paradigm. Circulating tumor DNA and other molecular biomarkers may identify persistent malignant clones that remain undetectable through conventional imaging. If validated, these biomarkers could provide an opportunity to identify patients at particularly high risk of recurrence and potentially target vaccination to individuals with demonstrable residual disease. Integration of

molecular residual-disease monitoring with vaccine-induced immune-response measurements could generate a pharmacologically informed feedback system in which treatment intensity and duration are adapted according to biological evidence rather than predetermined schedules alone.

Another important consideration is antigen evolution under therapeutic immune pressure. Tumor cells are not static targets; they undergo continuous genomic and phenotypic adaptation. A vaccine directed against a specific antigen may exert selective pressure favoring tumor subpopulations with reduced or absent expression of that antigen. This phenomenon highlights the potential value of polyepitope and multi-antigen vaccine strategies. Simultaneous targeting of multiple tumor-specific antigens could theoretically reduce the probability that a single immune-escape event will restore tumor growth. However, increasing antigenic complexity may also create challenges in manufacturing, immunodominance, competition among epitopes, and individualized dose optimization.

Neoantigen pharmacology therefore requires a particularly sophisticated understanding of tumor genomics and immune recognition. Not every tumor mutation generates an immunogenic peptide, and not every predicted neoantigen is naturally processed, presented, and recognized by T cells. Computational prediction may identify candidate epitopes based on sequence alterations and predicted HLA binding, but biological validation remains essential. The distinction between predicted antigenicity and clinically demonstrated immunogenicity is fundamental. Future vaccine platforms may increasingly incorporate experimental validation of antigen processing, presentation, T-cell receptor recognition, and functional cytotoxicity before individualized vaccine composition is finalized.

The HLA system introduces another major determinant of individual response. Because antigen presentation is HLA-restricted, the same tumor mutation may produce different immunological consequences among individuals with different HLA genotypes. Personalized vaccine development must therefore account for HLA diversity when selecting candidate epitopes. This requirement illustrates how pharmacogenomic principles intersect with immunotherapy: patient genotype can influence the probability that a particular molecular target will become pharmacologically actionable. HLA-informed antigen selection may consequently become a central component of precision anticancer vaccine design.

The interaction between vaccination and immune-checkpoint regulation further illustrates the necessity of combination pharmacology. Vaccine administration can expand tumor-specific T-cell populations, but these cells may encounter inhibitory pathways within the tumor microenvironment. Checkpoint inhibitors may restore effector-cell functionality by interrupting inhibitory signaling. Conversely, checkpoint blockade may increase the activity of vaccine-primed lymphocytes and potentially amplify therapeutic benefit. However, enhanced immune activation may also increase immune-mediated toxicity. Thus, the pharmacological rationale for combination therapy must simultaneously consider mechanistic complementarity, treatment sequencing, cumulative immune activation, pharmacodynamic interactions, and safety.

Chemotherapy may also influence vaccine effectiveness through mechanisms extending beyond direct tumor-cell killing. Certain cytotoxic agents can induce immunogenic cell death,

alter tumor antigen availability, reduce immunosuppressive cell populations, or modify the tumor microenvironment. Nevertheless, other agents may produce lymphodepletion or immunosuppression that compromises vaccine-induced responses. The pharmacological consequences are therefore drug-specific and schedule-dependent. Similarly, radiation therapy may increase antigen release and modify tumor immunogenicity but may also generate tissue inflammation and toxicity. Rational combination strategies should therefore be based on mechanistic evidence rather than assumptions that all anticancer therapies are inherently complementary.

Targeted therapies may provide additional opportunities for combination with vaccination. Molecularly targeted agents can alter oncogenic signaling pathways, tumor-cell phenotype, antigen expression, or immune-cell interactions. Some targeted treatments may increase tumor immunogenicity or reduce immunosuppressive signaling, thereby creating a more favorable environment for vaccine-induced immunity. Conversely, pathway inhibition may alter immune-cell metabolism or function in ways that influence therapeutic response. Detailed pharmacological investigation is therefore necessary to identify combinations in which molecular targeting and immune activation reinforce rather than interfere with each other.

The role of radiological evaluation also deserves reconsideration in immunotherapeutic research. Conventional response assessment assumes that reductions in measurable tumor volume correspond relatively directly to treatment efficacy. Immunotherapy can produce more complex patterns because immune-cell infiltration and inflammatory responses may transiently increase lesion size or metabolic activity. This phenomenon creates the possibility of misclassifying effective therapy as disease progression. Immunotherapy-specific response assessment methodologies may therefore be necessary, particularly when vaccine therapy is combined with checkpoint inhibition. Nevertheless, modified response criteria should be applied cautiously and integrated with clinical status and complementary biomarkers.

Patient-reported outcomes provide another essential dimension of therapeutic assessment. The burden of cancer treatment extends beyond measurable tumor parameters and includes fatigue, pain, anxiety, functional impairment, treatment inconvenience, psychological distress, financial toxicity, and social consequences. Anticancer vaccine programs, especially individualized platforms, may involve repeated procedures, specialized laboratory testing, and prolonged monitoring. The practical burden of therapy should therefore be incorporated into comprehensive benefit–risk assessments. A technologically sophisticated treatment cannot be regarded as clinically optimized if its implementation substantially compromises patient well-being without corresponding therapeutic benefit.

The issue of adherence is similarly important. Unlike some conventional oral therapies, vaccine regimens may involve scheduled administration visits, laboratory monitoring, imaging, and repeated immunological assessments. Delays in treatment may result from manufacturing, logistical limitations, intercurrent illness, or healthcare-access barriers. These real-world factors can influence effectiveness independently of biological efficacy. Real-world pharmacotherapy research should therefore distinguish biological treatment efficacy from effectiveness under actual conditions of care.

The development of robust pharmacovigilance systems is particularly important as increasingly complex vaccine combinations move toward broader clinical implementation. Traditional spontaneous reporting systems may be insufficient for detecting subtle or delayed immunological adverse events. Active surveillance strategies capable of linking treatment exposure with longitudinal laboratory, clinical, and imaging data may provide substantially greater sensitivity. Sentinel systems, patient registries, electronic medical-record analysis, and prospective cohort surveillance can complement spontaneous reporting and improve detection of uncommon but clinically consequential events.

Signal detection must also account for competing risks and background incidence. Patients with advanced cancer already have elevated risks of thrombosis, infection, organ dysfunction, constitutional symptoms, and other adverse outcomes. An observed event following vaccine administration may therefore reflect the natural history of the disease rather than treatment toxicity. Appropriate comparator populations and epidemiological methods are essential for distinguishing treatment-associated risk from background risk. Self-controlled designs, matched cohort analyses, case–control studies, and other causal-inference approaches may provide complementary evidence when randomized safety comparisons are unavailable.

The concept of adverse-event severity should similarly be interpreted in clinical context. An event classified as severe according to standardized terminology may have different clinical implications depending on duration, reversibility, organ involvement, treatment requirements, and impact on quality of life. Pharmacovigilance assessment should therefore incorporate seriousness, severity, expectedness, reversibility, preventability, and clinical consequences. Particularly important are adverse events leading to hospitalization, permanent disability, treatment discontinuation, or death.

Preventability is an underappreciated dimension of anticancer vaccine safety. Some treatment-related harms may be minimized through appropriate patient selection, pre-treatment screening, monitoring protocols, dose adjustment, treatment interruption, early recognition, and evidence-based management. Pharmacovigilance should therefore not merely document adverse events but contribute to strategies for preventing avoidable harm. This shifts pharmacovigilance from passive surveillance toward an active component of clinical risk management.

Therapeutic drug monitoring in the conventional sense may have limited applicability to many vaccine platforms, but pharmacodynamic monitoring can serve an analogous function. Measurements of antigen-specific T-cell frequency, cytokine profiles, immune-cell phenotypes, antibody responses, circulating tumor DNA, and other biomarkers may provide information regarding biological exposure and treatment effect. The integration of these measures could permit pharmacologically informed treatment adaptation and potentially identify nonresponders earlier than conventional clinical endpoints.

The future development of anticancer vaccine pharmacotherapy will likely depend increasingly on systems-level integration. Genomic information, immunological measurements, clinical characteristics, pharmacological exposures, safety data, and patient-reported outcomes can be integrated into multidimensional models of treatment response. Such models may enable clinicians to identify patients with favorable biological conditions for vaccination, select

appropriate antigens, determine optimal combinations, predict toxicity, and monitor treatment dynamically. However, implementation will require rigorous validation and attention to interpretability, data quality, and clinical feasibility.

The scientific importance of anticancer vaccines therefore extends beyond the development of another class of cancer medicines. They represent a broader transformation in therapeutic philosophy in which the pharmacological objective is to direct, educate, and sustain the host immune response against malignant disease. This approach requires an expanded definition of pharmacological efficacy encompassing molecular specificity, immune activation, tumor control, durability, safety, and patient-centered benefit. It also requires closer integration between pharmacology and disciplines traditionally regarded as separate, including immunology, genomics, bioinformatics, epidemiology, toxicology, and health outcomes research.

The successful clinical translation of anticancer vaccines will depend upon whether their molecular sophistication can be converted into reproducible improvements in meaningful clinical outcomes. The field must therefore continue to move beyond proof-of-concept demonstrations of immunogenicity toward rigorous evidence concerning survival, recurrence prevention, quality of life, toxicity, and real-world effectiveness. Such progression requires methodological consistency, transparent reporting, adequately powered clinical trials, long-term safety surveillance, standardized outcome definitions, and integration of mechanistic and clinical evidence.

Within this scientific framework, anticancer vaccine pharmacology and pharmacotherapy should be understood as a continuously evolving discipline in which therapeutic innovation and evidence generation must progress simultaneously. Molecular precision must be accompanied by clinical validation; immune activation must be balanced against immunotoxicity; pharmacological efficacy must be evaluated alongside patient-centered outcomes; and promising clinical-trial findings must ultimately be tested through real-world effectiveness and pharmacovigilance. The convergence of these dimensions provides the foundation for developing anticancer vaccines that are not only technologically innovative but also pharmacologically rational, clinically effective, operationally feasible, and demonstrably safe.

BACKGROUND

The development of anticancer vaccines is rooted in the broader scientific recognition that the immune system possesses intrinsic capacity to identify and eliminate cells exhibiting abnormal molecular characteristics. Cancer, however, is characterized by complex mechanisms of immune evasion that enable malignant cells to escape immune surveillance, establish immunosuppressive microenvironments, and progressively acquire phenotypic characteristics that reduce susceptibility to immune-mediated destruction. Anticancer vaccination seeks to exploit the antigenic differences between malignant and healthy tissues by enhancing the specificity, magnitude, persistence, and functional competence of antitumor immune responses. The contemporary pharmacological interpretation of this strategy extends well beyond the administration of an antigenic preparation and encompasses molecular target identification, antigen processing, immune activation, pharmacodynamic modulation, therapeutic

combination, toxicity management, pharmacovigilance, and longitudinal clinical outcome assessment.

Historically, cancer vaccine research evolved through several conceptual stages. Early approaches were largely based on the observation that tumors may express abnormal or overrepresented antigens capable of stimulating immune recognition. Initial vaccine strategies frequently employed whole tumor cells, tumor lysates, viral antigens, or relatively broadly expressed tumor-associated antigens. Although these approaches established the biological plausibility of therapeutic vaccination, clinical efficacy was often constrained by weak immunogenicity, antigenic heterogeneity, inadequate immune-cell activation, and profound tumor-mediated immune suppression. The subsequent development of molecular biology, genomics, proteomics, immunopeptidomics, and computational antigen prediction progressively transformed vaccine design into a more precise and individualized process.

The distinction between tumor-associated antigens and tumor-specific antigens is fundamental to contemporary vaccine pharmacology. Tumor-associated antigens may be expressed at higher levels in malignant tissue but can also occur in normal cells, creating the possibility of limited tumor specificity and potential on-target toxicity. Tumor-specific antigens, particularly mutation-derived neoantigens, may provide greater specificity because they arise from somatic alterations restricted to malignant cells. Neoantigens can result from point mutations, insertions, deletions, gene fusions, abnormal splicing, or other genomic events. Their potential value lies in the possibility of generating T-cell responses against molecular structures absent from healthy tissues. Nevertheless, prediction of a mutation does not guarantee that the resulting peptide will be naturally processed, presented by HLA molecules, recognized by T-cell receptors, and capable of generating clinically meaningful immunity.

The emergence of personalized neoantigen vaccination represents one of the most significant conceptual advances in the field. High-throughput tumor sequencing can identify candidate mutations, while transcriptomic and immunopeptidomic information may determine whether these alterations are expressed and potentially presented to immune cells. Bioinformatic algorithms can subsequently rank candidate epitopes according to predicted HLA binding, expression, clonality, and other characteristics. This workflow provides a molecular basis for individualized vaccine composition. However, the highly personalized nature of this process introduces substantial pharmacological, manufacturing, regulatory, logistical, and economic complexity.

Anticancer vaccines can be broadly categorized according to their antigenic composition and delivery technology. Peptide-based vaccines employ defined antigenic sequences capable of stimulating antigen-specific T-cell responses. Protein-based formulations provide larger antigenic structures that may engage multiple epitopes and antigen-presenting pathways. DNA and messenger RNA platforms enable delivery of genetic instructions for endogenous antigen production and may permit relatively flexible incorporation of multiple antigens. Viral-vector approaches utilize engineered viral systems to deliver tumor-associated or tumor-specific antigen sequences while simultaneously generating innate immune stimulation. Dendritic-cell vaccines involve ex vivo manipulation of professional antigen-presenting cells followed by

administration to the patient. Whole-cell and tumor-lysate approaches provide broad antigenic repertoires and may reduce dependence on identifying a single target. Each platform therefore represents a distinct pharmacological intervention with unique relationships among formulation, biodistribution, antigen processing, immunogenicity, efficacy, and toxicity.

The pharmacology of these platforms differs fundamentally from that of conventional small-molecule medicines. In conventional pharmacology, pharmacokinetics generally concerns absorption, distribution, metabolism, and elimination, while pharmacodynamics describes the relationship between drug exposure and biological effect. For anticancer vaccines, the administered formulation initiates a biological cascade that may continue long after the physical vaccine components have been cleared. Antigen persistence, dendritic-cell activation, lymphocyte expansion, immune-cell differentiation, and memory formation may generate prolonged effects that cannot be adequately represented by conventional plasma concentration measurements. Pharmacodynamic assessment must consequently incorporate cellular and molecular immune markers together with clinical endpoints.

Innate immunity constitutes an important initiating component of vaccine pharmacology. Recognition of vaccine-associated molecular patterns by innate immune receptors can stimulate inflammatory signaling and promote maturation of antigen-presenting cells. Appropriate innate activation is necessary for efficient adaptive immune priming, but excessive activation may increase inflammatory toxicity. The balance between immunostimulation and immunosafety therefore represents a fundamental pharmacological consideration. Adjuvant selection, dose, formulation, route of administration, and delivery system can all influence this balance.

Dendritic cells are particularly important because they link innate sensing to adaptive immunity. Following antigen uptake and processing, dendritic cells can present antigen-derived peptides to T lymphocytes and provide the costimulatory signals necessary for effective activation. The functional state of dendritic cells within the tumor microenvironment may determine whether vaccination results in productive T-cell priming or ineffective immune activation. Tumor-derived factors may suppress dendritic-cell maturation and impair antigen presentation, creating a biological barrier that vaccine formulations must overcome.

T-cell biology is central to the therapeutic mechanism of most modern anticancer vaccines. CD8-positive cytotoxic T lymphocytes can recognize antigenic peptides presented through major histocompatibility complex class I molecules and directly destroy target cells. CD4-positive helper T cells contribute to immune coordination, cytokine signaling, dendritic-cell licensing, and the establishment of immunological memory. Effective vaccination therefore depends on coordinated activation of multiple immune-cell populations rather than isolated expansion of a single effector-cell compartment. The quality, functionality, persistence, and tissue localization of vaccine-induced lymphocytes may be more important than their absolute numerical expansion.

The tumor microenvironment is one of the major determinants of whether these immune responses translate into therapeutic efficacy. Malignant tissues can contain regulatory T cells, tumor-associated macrophages, myeloid-derived suppressor cells, suppressive cytokines, abnormal vascular structures, hypoxic regions, altered extracellular matrix components, and

metabolically hostile conditions. These factors can inhibit T-cell trafficking, proliferation, cytokine production, and cytotoxic activity. Consequently, a highly immunogenic vaccine may produce limited tumor control if the resulting lymphocytes cannot enter the tumor or remain functionally active after arrival.

Immune-checkpoint pathways constitute another major mechanism of tumor immune escape. Inhibitory receptors and ligands can attenuate T-cell activation and promote functional exhaustion. This provides a pharmacological rationale for combining therapeutic vaccination with immune-checkpoint inhibition. Vaccination may increase the frequency and specificity of tumor-reactive lymphocytes, while checkpoint blockade may facilitate their sustained effector activity. However, combined immune activation can also increase the probability and severity of immune-mediated adverse events, necessitating careful benefit–risk evaluation.

The interaction between anticancer vaccines and conventional chemotherapy is similarly complex. Some cytotoxic agents can promote immunogenic tumor-cell death, release tumor antigens, reduce immunosuppressive cellular populations, or alter the tumor microenvironment. Such effects may theoretically increase vaccine effectiveness. Conversely, chemotherapy-induced lymphodepletion or suppression of antigen-presenting cells may compromise vaccine-induced immunity. The timing and sequencing of chemotherapy relative to vaccination therefore represent important pharmacotherapeutic variables.

Radiotherapy may also have immunological effects extending beyond local tumor destruction. Radiation can increase antigen release, modify tumor-cell phenotype, influence inflammatory signaling, and potentially enhance immune-cell recruitment. These mechanisms have contributed to interest in combining radiation with therapeutic vaccination. However, the clinical value of such combinations depends on radiation dose, fractionation, anatomical site, timing, and patient-specific characteristics. Combination therapy may also increase systemic or local toxicity, emphasizing the importance of clinical pharmacology and safety monitoring.

Targeted molecular therapies provide another potential platform for rational combination. Oncogenic signaling pathways influence tumor-cell survival, antigen expression, cytokine production, immune-cell recruitment, and immune suppression. Pharmacological inhibition of selected pathways may therefore modify tumor immunogenicity and create conditions favorable for vaccine-mediated immunity. Conversely, molecularly targeted agents can produce their own toxicity profiles and pharmacodynamic effects that must be considered when constructing combination regimens.

The clinical pharmacotherapy of anticancer vaccines consequently requires a comprehensive understanding of treatment sequencing. The same therapies administered in different sequences may produce different biological outcomes. Vaccine administration before immune-checkpoint inhibition may generate a population of tumor-specific lymphocytes that can subsequently be activated by checkpoint blockade. Alternatively, checkpoint inhibition may alter the immune environment sufficiently to enhance vaccine priming. Similarly, cytotoxic therapy may be most beneficial when administered at a point that maximizes antigen release while minimizing detrimental immune suppression. Determining optimal sequences remains an important area of translational research.

Therapeutic efficacy must be distinguished from immunogenicity. Immunogenicity describes the capacity of a vaccine to stimulate an immune response, whereas therapeutic efficacy concerns clinically meaningful control of malignant disease. A strong antigen-specific immune response does not necessarily produce tumor regression or improved survival. Failure can occur because of antigen heterogeneity, immune escape, inadequate tumor penetration, immune exhaustion, defective antigen presentation, or an immunosuppressive microenvironment. Therefore, clinical development must establish a mechanistic chain connecting vaccine administration to immune activation, tumor engagement, disease control, and patient benefit.

Clinical endpoints for anticancer vaccines should encompass both conventional oncological outcomes and immunotherapy-specific considerations. Objective response, complete response, partial response, stable disease, progression-free survival, overall survival, duration of response, disease-free survival, recurrence-free survival, and metastasis-free survival provide complementary measures of therapeutic performance. Quality of life, symptom burden, functional status, and patient-reported outcomes are equally important because long-term immunotherapeutic benefit may be associated with durable disease control rather than rapid tumor shrinkage.

The prevention of recurrence represents a particularly important potential application of anticancer vaccines. Patients with minimal residual disease may possess smaller tumor burdens and less immunosuppressive tumor microenvironments than individuals with advanced metastatic disease. Vaccination after definitive local treatment could theoretically establish long-term immune surveillance against residual malignant cells. Such applications require extended follow-up and sensitive biomarkers capable of detecting recurrence before clinically evident disease develops.

Molecular residual disease monitoring may provide an important complementary tool. Circulating tumor DNA can potentially detect molecular evidence of persistent or recurrent disease before radiological progression. Combining such measurements with vaccine-induced immune biomarkers may facilitate individualized monitoring of therapeutic effectiveness. A decline or disappearance of tumor-derived molecular signals accompanied by sustained tumor-specific immunity could provide evidence of biological response, whereas persistent molecular disease despite strong immune activation could indicate the need for therapeutic modification.

Toxicity represents an equally important determinant of clinical value. Anticancer vaccine-associated adverse events can include local inflammatory reactions, fever, fatigue, chills, myalgia, headache, and systemic inflammatory symptoms. Depending on vaccine formulation and combination treatment, more serious immune-mediated toxicities may occur. These may involve dermatological, gastrointestinal, hepatic, endocrine, pulmonary, cardiovascular, renal, neurological, or hematological systems. Distinguishing vaccine-associated toxicity from disease progression, infection, concomitant drug effects, or unrelated medical conditions can be challenging.

The complexity of oncology patients makes causal attribution particularly difficult. Patients frequently receive multiple systemic agents, supportive treatments, corticosteroids, analgesics, antimicrobial agents, anticoagulants, and other medications. They may also have pre-existing

organ dysfunction, autoimmune conditions, or treatment-related complications. Pharmacovigilance must therefore consider the complete therapeutic context rather than attributing an adverse event automatically to the most recently administered intervention.

Pharmacovigilance is consequently integral to anticancer vaccine development from early clinical investigation through post-marketing surveillance. Randomized controlled trials provide structured safety information, but their sample sizes and eligibility criteria limit the ability to detect rare events. Real-world pharmacovigilance systems can identify uncommon or delayed signals across larger populations. Spontaneous reporting databases, electronic health records, registries, active surveillance networks, and observational studies collectively contribute to the post-authorization safety evidence base.

Signal detection requires sophisticated epidemiological and statistical methodologies. Disproportionality analysis can identify adverse events reported more frequently with a particular therapy than expected relative to a reference database. However, disproportionality does not establish causality. Confounding by indication, stimulated reporting, reporting duplication, missing information, and concomitant therapies can influence observed associations. Consequently, signal detection should be followed by clinical assessment, epidemiological investigation, mechanistic evaluation, and, where appropriate, prospective validation.

Causality assessment is particularly challenging in immuno-oncology because delayed immune-mediated toxicities can occur after treatment exposure. The temporal relationship may therefore be less straightforward than for immediate pharmacological reactions. Biological plausibility, alternative causes, clinical phenotype, laboratory findings, treatment withdrawal, subsequent clinical course, and recurrence after re-exposure where ethically appropriate may all contribute to causal evaluation. Standardized terminology and structured documentation are essential for maintaining data quality.

Risk management should be integrated into vaccine pharmacotherapy rather than considered solely a regulatory activity. Identification of risk factors, development of monitoring protocols, establishment of treatment interruption criteria, early recognition of toxicity, and evidence-based management strategies can reduce preventable morbidity. Pharmacovigilance therefore functions not merely as an observational system but as an active mechanism for improving therapeutic safety.

Evidence-based medicine provides the framework for synthesizing these complex domains. Randomized controlled trials remain central for determining comparative efficacy, but they should be interpreted alongside mechanistic studies, translational biomarkers, systematic reviews, meta-analyses, observational research, and real-world evidence. The quality of evidence depends on methodological rigor, adequate sample size, appropriate comparators, clinically meaningful endpoints, sufficient follow-up, transparent reporting, and appropriate statistical analysis.

The heterogeneity of anticancer vaccine studies creates significant challenges for evidence synthesis. Trials may differ in tumor type, disease stage, vaccine platform, antigen selection, dosing schedule, adjuvant composition, combination therapy, previous treatment exposure,

biomarker requirements, and response criteria. Such heterogeneity may limit direct comparability and complicate quantitative pooling. Systematic reviews must therefore distinguish genuine biological differences from methodological heterogeneity and should avoid inappropriate aggregation of clinically distinct interventions.

Precision medicine offers an important mechanism for reducing such heterogeneity through improved patient stratification. Tumor genomic characteristics, HLA genotype, mutational burden, antigen expression, immune-cell infiltration, molecular signatures, and prior treatment exposure may all influence response. Integrating these variables into clinical trial design may identify patient populations more likely to benefit from specific vaccine strategies.

However, precision medicine also introduces challenges related to equity and accessibility. Personalized vaccine manufacturing requires advanced sequencing, bioinformatic analysis, specialized production facilities, and multidisciplinary clinical infrastructure. Patients treated in resource-limited settings may have substantially less access to these technologies. Consequently, future development must consider not only biological efficacy but also scalability, affordability, manufacturing efficiency, regulatory harmonization, and health-system feasibility.

Manufacturing represents a particularly important consideration for individualized vaccines. Conventional pharmaceutical production seeks standardized batches with highly reproducible composition and quality characteristics. Personalized vaccines may require patient-specific manufacturing, creating a different quality-control paradigm. Identity, purity, potency, sterility, stability, and consistency must be demonstrated despite individualized product composition. Accelerated manufacturing workflows may be necessary to ensure that patients receive therapy within clinically relevant treatment windows.

Regulatory science must adapt accordingly. Personalized products challenge traditional concepts of batch release, comparability, product uniformity, and conventional clinical development. Regulatory frameworks must simultaneously protect patient safety and permit scientifically justified innovation. Harmonization of manufacturing standards, analytical methods, pharmacovigilance requirements, and clinical endpoints may facilitate responsible expansion of personalized anticancer vaccination.

Artificial intelligence and computational biology are increasingly relevant to these processes. Machine-learning methods can support neoantigen prediction, HLA-binding analysis, antigen prioritization, patient stratification, toxicity prediction, and pharmacovigilance signal detection. However, computational prediction is dependent upon the quality and representativeness of training data. Algorithmic bias, limited external validation, overfitting, and inadequate interpretability can compromise clinical reliability. Artificial intelligence should therefore function as an adjunct to rigorous experimental and clinical validation rather than a substitute for it.

The microbiome represents another emerging biological determinant of immunotherapeutic response. Microbial communities can influence immune maturation, systemic inflammation, metabolic signaling, and responsiveness to certain immunotherapies. Antibiotic exposure, diet, geography, comorbidity, and other factors can alter microbial composition and potentially

modify therapeutic outcomes. Although the clinical relevance of these associations remains an active research area, microbiome-informed pharmacotherapy may ultimately become part of personalized immunotherapy.

Host factors similarly contribute to variability. Age, genetic background, immune competence, nutritional status, previous infections, comorbidities, concurrent medications, and prior cancer treatment can modify immune responses. Older patients may exhibit immunosenescence, while immunosuppressive therapies may impair vaccine-induced immunity. Conversely, certain inflammatory states may increase toxicity risk. Individualized benefit–risk assessment must therefore account for host biology as well as tumor characteristics.

The therapeutic window of anticancer vaccination should consequently be conceptualized as a multidimensional construct. It encompasses the magnitude of antitumor immunity achievable without unacceptable inflammatory or immune-mediated toxicity. Optimization requires balancing antigen specificity, immune activation, treatment intensity, combination therapy, and host tolerance. This balance is particularly important because increasing immune stimulation does not necessarily translate into proportional therapeutic benefit.

Long-term follow-up is indispensable for determining whether vaccine-induced immunity produces durable clinical effects. Unlike therapies whose benefits may be readily observable during short treatment cycles, vaccines may generate immunological memory capable of influencing disease trajectories over extended periods. Conversely, delayed toxicities may also emerge after prolonged exposure or after immune activation has been established. Longitudinal surveillance must therefore incorporate both efficacy and safety endpoints.

Real-world evidence provides an essential complement to controlled clinical trials. Routine clinical populations often differ substantially from trial participants with respect to age, comorbidity, treatment history, socioeconomic circumstances, adherence, and healthcare access. Real-world studies can reveal how anticancer vaccines perform under these heterogeneous conditions and can identify implementation barriers that may not be apparent in highly controlled research settings.

Health outcomes research should consequently encompass not only survival and tumor response but also hospitalization, treatment discontinuation, emergency care, quality of life, functional status, healthcare resource utilization, and economic burden. Such data are necessary to determine the broader value of anticancer vaccination within healthcare systems.

Overall, the background scientific framework surrounding anticancer vaccines demonstrates that their development represents a convergence of molecular immunology, pharmacology, clinical pharmacotherapy, precision oncology, toxicology, pharmacovigilance, epidemiology, and outcomes science. The field has moved from relatively generalized tumor-antigen approaches toward increasingly personalized and technologically sophisticated interventions. Yet technological sophistication alone does not establish therapeutic value. Meaningful advancement requires rigorous demonstration that molecularly targeted immune activation produces durable clinical benefit while maintaining an acceptable toxicity profile.

The central scientific challenge is therefore one of integration. Antigen discovery must be connected with pharmacological formulation; immune activation must be connected with tumor

control; molecular precision must be connected with patient selection; therapeutic efficacy must be evaluated alongside toxicity; and clinical-trial evidence must be integrated with pharmacovigilance and real-world effectiveness. Only through such multidimensional integration can anticancer vaccines progress from promising experimental technologies to mature components of evidence-based cancer pharmacotherapy.

This integrated background establishes the rationale for evaluating anticancer vaccines through a comprehensive scientific framework encompassing therapeutic efficacy, pharmacological mechanisms, pharmacotherapeutic combinations, immunosafety, toxicity characterization, pharmacovigilance, precision medicine, clinical response, survival outcomes, treatment monitoring, and real-world effectiveness. Such an approach is essential for determining not simply whether an anticancer vaccine can induce an immune response, but whether that response can be transformed into durable, safe, reproducible, and clinically meaningful improvement in the lives of patients with malignant disease.

The increasing sophistication of anticancer vaccine science has created a therapeutic environment in which pharmacological decision-making must accommodate substantial biological heterogeneity. Unlike many conventional medicines developed around a relatively conserved molecular target, anticancer vaccines interact with a patient-specific immunological system and a genetically heterogeneous malignant population. The therapeutic effect is therefore influenced by the interaction among vaccine composition, antigenic architecture, host immune competence, tumor genetics, HLA repertoire, tumor microenvironment, previous treatment exposure, concomitant pharmacotherapy, and temporal disease evolution. This multidimensional dependency makes individualized pharmacological assessment particularly important and challenges conventional assumptions concerning uniform treatment response.

Tumor heterogeneity represents one of the principal barriers to durable vaccine-mediated tumor control. Malignant neoplasms may contain multiple subclonal populations with distinct genomic, transcriptomic, and antigenic profiles. A vaccine directed against an antigen present in only a subset of tumor cells may eliminate susceptible clones while allowing antigen-negative populations to expand. The resulting immunological selection can contribute to acquired resistance and disease progression. Consequently, the identification of clonal or truncal antigens, when technically feasible, has become an important objective in vaccine design. Targeting antigens shared across a large proportion of malignant cells may reduce the probability of immune escape, although such targets may be more difficult to identify and may potentially be associated with greater antigen-specific toxicity if normal tissues express related molecules.

The concept of antigen hierarchy is also relevant. Tumors may express numerous potential antigens, but only a subset may generate dominant immune responses. Immunodominance can influence the distribution and persistence of vaccine-induced T-cell populations. A highly immunogenic epitope may dominate the immune response while less dominant but potentially clinically important epitopes remain insufficiently recognized. Multi-antigen vaccine strategies may therefore attempt to broaden immune recognition and decrease dependence on a single dominant target. However, increasing antigenic complexity can create competition among epitopes and complicate prediction of the resulting immune repertoire.

Antigen presentation is another critical determinant. Even when a tumor expresses a theoretically suitable antigen, effective immune recognition requires intracellular processing and presentation through appropriate HLA molecules. Alterations in antigen-processing machinery, β2-microglobulin expression, interferon signaling, or HLA expression can reduce tumor visibility to cytotoxic lymphocytes. Such mechanisms represent potential forms of immune escape that may not be overcome by simply increasing vaccine dose. Pharmacological strategies aimed at restoring antigen presentation or modifying tumor-cell phenotype may therefore become important adjuncts to vaccination.

The tumor microenvironment is characterized by substantial metabolic complexity that can directly influence immune-cell function. Activated T cells require glucose, amino acids, oxygen, and other metabolic substrates to sustain proliferation and cytotoxic activity. Tumor cells can consume these resources while producing metabolites that inhibit immune function. Hypoxia and extracellular acidity may further impair lymphocyte activity and alter cytokine signaling. Consequently, successful vaccine therapy may require simultaneous modification of metabolic barriers within the tumor microenvironment. This area represents a developing intersection between cancer metabolism and immunopharmacology.

Tumor-associated macrophages constitute another important regulatory population. Depending on their functional phenotype and environmental signals, macrophages can support inflammation and antigen presentation or contribute to immune suppression, angiogenesis, tissue remodeling, and tumor progression. Strategies capable of modifying macrophage polarization may potentially enhance vaccine efficacy by creating a more permissive immunological environment. Similarly, myeloid-derived suppressor cells can inhibit T-cell activity through multiple mechanisms, including production of reactive oxygen species, arginine depletion, and immunosuppressive signaling. Their presence may represent a major barrier to successful vaccine-mediated immune control.

Regulatory T cells can suppress antitumor immune responses through direct cellular interactions and production of inhibitory mediators. Their accumulation within tumors may reduce the functional effectiveness of vaccine-induced lymphocytes. However, broad depletion or inhibition of regulatory immune populations carries the risk of systemic autoimmunity. This illustrates the central pharmacological principle that immune modulation must be sufficiently selective to enhance antitumor activity without disrupting physiological immune tolerance.

Cytokine signaling represents another complex component of vaccine pharmacology. Cytokines can promote immune-cell recruitment, differentiation, proliferation, and activation, but excessive cytokine production can generate systemic inflammatory toxicity. The therapeutic objective is therefore not maximal cytokine release but controlled immune signaling directed toward productive antitumor activity. Biomarker-guided monitoring of cytokine profiles may assist in identifying patients experiencing excessive inflammatory activation and may contribute to early recognition of emerging toxicity.

The role of innate immune sensors has also expanded the conceptual framework of vaccine pharmacology. Recognition of nucleic-acid-based vaccine components by intracellular or extracellular pattern-recognition receptors can generate potent innate signals that influence

subsequent adaptive immunity. Such mechanisms are beneficial when appropriately controlled but can become detrimental if activation is excessive or poorly localized. The formulation of nucleic-acid vaccines therefore requires careful consideration of molecular structure, delivery system, innate sensing, degradation kinetics, and cellular localization.

Nanotechnology provides additional opportunities for optimizing vaccine delivery. Nanoparticles can potentially protect fragile biological molecules, facilitate cellular uptake, control antigen release, and improve lymphatic transport. They may also allow co-delivery of antigens and adjuvants within the same formulation. However, nanoparticle pharmacology introduces additional variables related to particle size, surface characteristics, composition, biodistribution, persistence, and potential toxicity. Regulatory characterization of these systems may consequently be more complex than that of conventional formulations.

The route and anatomical site of administration can influence immune responses through local tissue immunology. Lymphatic drainage, resident antigen-presenting cells, tissue-specific immune populations, and local inflammatory conditions may determine the efficiency with which antigen reaches lymphoid organs. Understanding these anatomical pharmacology principles may permit optimization of vaccine delivery and potentially reduce systemic exposure or adverse inflammatory effects.

Repeated vaccination presents another pharmacological consideration. Booster administration may strengthen and prolong immune responses, but repeated exposure can also alter the immunological profile of the response. Depending on the platform, vector immunity, antigen-specific tolerance, exhaustion, or changes in immune-cell composition may influence subsequent responses. The optimal number and timing of vaccine administrations therefore require empirical determination rather than assumptions based solely on conventional vaccination schedules.

The durability of immunological memory is central to the long-term therapeutic rationale. Memory T cells can persist after initial antigen exposure and may rapidly reactivate upon recognition of residual or recurrent malignant cells. However, the quality of memory formation depends on antigen persistence, inflammatory context, cytokine signaling, costimulation, metabolic conditions, and host characteristics. Tumor evolution can further challenge long-term immunity by eliminating or modifying the targeted antigen. Continuous monitoring of antigenic and immunological evolution may therefore become increasingly relevant.

Immune escape should be regarded as a dynamic process rather than a single mechanism. Malignant cells may simultaneously reduce antigen expression, alter antigen-processing pathways, increase inhibitory ligand expression, modify cytokine signaling, recruit suppressive immune cells, and develop metabolic adaptations. These mechanisms can emerge sequentially or concurrently. Consequently, effective vaccine therapy may require dynamic treatment strategies capable of adapting to evolving tumor biology.

This dynamic perspective supports the development of adaptive therapeutic approaches. Instead of maintaining a fixed vaccine composition throughout treatment, future platforms may potentially incorporate serial molecular profiling to identify emerging antigens and modify vaccine formulations accordingly. Such adaptive vaccination would represent an advanced form

of precision pharmacotherapy in which treatment evolves with the biological characteristics of the tumor. Implementation, however, would require rapid sequencing, validated computational pipelines, accelerated manufacturing, and robust regulatory mechanisms.

The integration of liquid biopsy technologies could facilitate this adaptive model. Circulating tumor DNA, circulating tumor cells, extracellular vesicles, and other circulating biomarkers may provide longitudinal information regarding tumor evolution without repeated invasive biopsies. Molecular surveillance could potentially identify newly emerging mutations, loss of targeted antigens, or molecular evidence of treatment resistance. When combined with immune profiling, these technologies could provide a comprehensive picture of the evolving therapeutic interaction between vaccine-induced immunity and malignant disease.

Another major area of interest is the interaction between anticancer vaccines and cellular therapies. Adoptive T-cell therapy, tumor-infiltrating lymphocyte therapy, and engineered T-cell approaches can provide highly specific effector populations. Vaccination may potentially enhance expansion or persistence of transferred cells by providing antigenic stimulation. Conversely, cellular therapies may complement vaccines by supplying effector cells capable of responding to vaccine-induced antigen presentation. These combinations require careful pharmacological assessment because excessive immune activation could increase toxicity.

The relationship between vaccination and antibody-mediated immunity should also be considered. Although cytotoxic T cells are often emphasized, antibodies may contribute to tumor recognition through mechanisms such as antibody-dependent cellular cytotoxicity, complement activation, receptor blockade, or interference with tumor signaling. Some vaccine platforms can induce both cellular and humoral responses. The relative contribution of these mechanisms may vary according to antigen type and tumor biology. Comprehensive pharmacodynamic evaluation should therefore avoid restricting immunogenicity assessment to a single immune compartment.

Immune memory and antibody responses may also have different temporal kinetics. A transient increase in circulating antibodies or effector T cells may not necessarily indicate durable protection. Long-term assessment of memory populations and functional immune responses may provide greater predictive value. This distinction is particularly relevant when vaccines are being evaluated for recurrence prevention, where the therapeutic objective may extend over many years.

Clinical trial methodology must adapt to these biological characteristics. Traditional oncology trials frequently focus on median progression-free or overall survival, but vaccine studies may require extended follow-up to capture delayed benefits and late adverse events. Time-to-event analyses must therefore account for nonproportional hazards and potentially delayed treatment effects. Conventional statistical assumptions may not always be appropriate when therapeutic effects emerge gradually. Trial design should consequently incorporate statistical approaches capable of addressing the distinctive temporal characteristics of immunotherapy.

Biomarker-enriched trials can potentially improve efficiency by selecting patients based on molecular or immunological characteristics. However, excessive restriction may reduce generalizability and make it difficult to understand effectiveness in broader populations. A

balance must therefore be achieved between biological precision and external validity. Subsequent pragmatic and real-world studies are necessary to determine whether findings from highly selected populations remain applicable in routine practice.

The distinction between efficacy and effectiveness is particularly important in this context. Efficacy describes performance under controlled research conditions, whereas effectiveness reflects outcomes under routine clinical circumstances. Personalized anticancer vaccines may face implementation challenges involving tissue acquisition, sequencing turnaround time, manufacturing capacity, scheduling, reimbursement, patient adherence, and access to specialized centers. These factors can substantially affect effectiveness even when biological efficacy is demonstrated.

Health-system infrastructure therefore becomes part of the pharmacotherapeutic environment. Advanced vaccine programs require multidisciplinary coordination among oncologists, clinical pharmacologists, pathologists, molecular geneticists, immunologists, bioinformaticians, pharmacists, laboratory specialists, and pharmacovigilance professionals. Effective implementation requires standardized communication, validated workflows, quality assurance, and clearly defined responsibilities for treatment monitoring and adverse-event reporting.

Clinical pharmacists may have an increasingly important role in this environment. Their expertise in medication safety, pharmacological interactions, treatment adherence, adverse-event monitoring, patient education, and pharmacovigilance can contribute to the safe integration of vaccine-based therapies with complex anticancer regimens. As personalized immunotherapy expands, pharmaceutical care may increasingly involve interpretation of treatment schedules, concomitant medication risks, supportive therapy, monitoring parameters, and patient-centered counseling.

Drug–vaccine interactions represent another emerging area. Concomitant medications can influence immune function and potentially alter vaccine effectiveness or toxicity. Corticosteroids and other immunosuppressive drugs may reduce immune activation, whereas antimicrobial therapy may alter the microbiome and indirectly influence immunotherapy response. Nonsteroidal anti-inflammatory drugs, anticoagulants, antiplatelet therapies, and other commonly used medications may affect the management of adverse events. Comprehensive medication reconciliation is therefore essential.

Polypharmacy is especially relevant in older oncology populations. Multiple medications may create competing risks and complicate attribution of adverse events. A pharmacological review should consider not only whether a vaccine can be administered safely but whether the entire medication regimen remains optimized. Deprescribing inappropriate or unnecessary medications may sometimes improve the safety profile of complex immunotherapeutic regimens.

The concept of medication safety must therefore be expanded into integrated therapeutic safety. This includes correct product selection, dosing, administration, storage, preparation, treatment sequencing, monitoring, documentation, adverse-event recognition, and communication across healthcare professionals. Errors in individualized vaccine production or administration may have particularly significant consequences because of the personalized nature of the treatment.

Pharmacovigilance systems must also accommodate product-specific identification. Conventional spontaneous reporting can be challenging when individualized vaccines do not correspond to a single standardized commercial product. Accurate documentation of vaccine platform, antigen composition, manufacturing batch, administration date, concomitant therapy, and patient characteristics may be essential for meaningful signal detection. Digital traceability systems could potentially facilitate this process.

Post-marketing surveillance should be designed from the earliest stages of development rather than added after approval. Predefined safety outcomes, standardized reporting procedures, active follow-up, and linkage with clinical databases can strengthen the capacity to detect rare adverse events. Long-term registries may be particularly valuable for identifying delayed immune-mediated complications and assessing durability of clinical benefit.

The ethical dimension of pharmacovigilance should also be considered. Patients receiving innovative vaccines may have limited information about long-term risks because of relatively short pre-authorization experience. Transparent communication regarding known and uncertain risks is therefore an essential component of informed consent. Patients should understand that post-marketing surveillance may identify additional safety information as treatment becomes more widely used.

Patient participation in safety monitoring may provide additional value. Digital patient-reported outcome systems can allow individuals to report symptoms between clinical visits, potentially enabling earlier identification of emerging toxicity. Such systems may also capture quality-of-life effects that are underrepresented in conventional adverse-event reporting. Integration of patient-generated data into pharmacovigilance could strengthen patient-centered safety science.

The economic implications of toxicity are also substantial. Severe treatment-related adverse events can increase hospitalization, supportive-care requirements, treatment discontinuation, and healthcare expenditure. Conversely, effective vaccination that prevents recurrence may reduce long-term treatment costs and disease burden. Economic evaluation should therefore incorporate both the costs of vaccine development and administration and the potential downstream consequences of treatment efficacy and toxicity.

Cost-effectiveness assessment becomes particularly important for personalized vaccine platforms. Individualized sequencing, bioinformatic analysis, manufacturing, quality control, and repeated monitoring may produce high initial costs. These costs may be justified if vaccination results in substantial survival gains, durable disease control, or avoidance of subsequent expensive therapies. Formal health-economic models should therefore incorporate long-term outcomes rather than evaluating acquisition costs alone.

Global implementation introduces further considerations. Vaccine technologies developed in highly resourced healthcare systems may be difficult to implement in countries lacking genomic sequencing infrastructure, specialized manufacturing facilities, or advanced oncology centers. International collaboration, technology transfer, standardized protocols, and scalable manufacturing approaches may help reduce disparities. The global pharmacological value of anticancer vaccines will ultimately depend not only on efficacy but also on accessibility.

The regulatory environment must similarly balance innovation with safety. Novel vaccine platforms may not fit neatly within conventional regulatory categories. Personalized products, combination regimens, adaptive manufacturing, and rapidly evolving technologies require flexible but rigorous oversight. Standardization of quality attributes, potency assays, clinical endpoints, pharmacovigilance requirements, and post-authorization commitments can support responsible development.

The scientific literature increasingly emphasizes that successful immunotherapy requires coordinated manipulation of multiple biological axes. Antigen specificity alone may be insufficient if T-cell activation is impaired; T-cell activation may be insufficient if tumor infiltration is blocked; infiltration may be insufficient if metabolic suppression dominates; and tumor recognition may be insufficient if antigen expression is lost. This systems-level understanding provides the rationale for multimodal pharmacotherapy.

Combination therapy should nevertheless be approached cautiously. Every additional therapeutic component introduces potential pharmacodynamic interactions, cumulative toxicity, increased cost, treatment complexity, and challenges in determining which component is responsible for efficacy or adverse events. Evidence-based combination development should therefore require a clear mechanistic hypothesis and appropriate comparative evaluation.

The concept of rational combination therapy is particularly important in clinical pharmacology. Rather than combining treatments solely because they operate through different mechanisms, researchers should determine whether their mechanisms are complementary in sequence, location, timing, and biological context. Pharmacodynamic modeling and translational biomarkers may assist in identifying combinations that maximize synergistic benefit while minimizing antagonism.

The ultimate objective of these strategies remains patient-centered clinical benefit. Molecular response, immunological activation, and pharmacodynamic biomarkers are important intermediate measures, but they should ultimately be connected to outcomes meaningful to patients. Durable survival, prevention of recurrence, preservation of function, reduction of symptoms, maintenance of quality of life, and acceptable toxicity represent the most clinically consequential outcomes.

Thus, the background of anticancer vaccine pharmacology demonstrates a transition from relatively generalized immunostimulation toward precision, adaptive, and multidimensional therapeutic design. This transition has generated unprecedented opportunities but has also introduced greater scientific complexity. The therapeutic agent is no longer simply a defined chemical entity; it is a biologically active intervention capable of reshaping the patient's immune response. The resulting pharmacological effects are influenced by tumor evolution, host biology, treatment combinations, and environmental factors.

The scientific maturity of the field will therefore depend on the ability to integrate molecular innovation with rigorous clinical evidence. Antigen discovery, vaccine engineering, pharmacological formulation, clinical pharmacotherapy, toxicity assessment, pharmacovigilance, precision patient selection, and real-world effectiveness must be regarded as interconnected components of a single therapeutic continuum. Fragmentation of these

domains risks overestimating immunogenicity while underestimating clinical limitations or safety challenges.

A comprehensive background framework consequently requires simultaneous attention to efficacy and harm, molecular precision and clinical applicability, technological innovation and health-system feasibility, and controlled trial performance and real-world effectiveness. This integrated perspective provides the foundation for evaluating anticancer vaccines as a mature pharmacotherapeutic discipline rather than merely an experimental immunological technology. The anticancer vaccines represent a potentially transformative approach to cancer treatment and prevention, but their ultimate therapeutic status depends upon rigorous validation across multiple levels of evidence. The central scientific challenge is to convert highly specific molecular information into durable immune-mediated tumor control while maintaining an acceptable therapeutic safety profile. Achieving this objective requires convergence of cancer pharmacology, clinical immunology, precision medicine, toxicology, pharmacovigilance, evidence-based medicine, and health outcomes research.

The evolution of these disciplines is likely to determine whether anticancer vaccines become broadly integrated into routine cancer care. Future success will depend on improved antigen prediction, more effective delivery technologies, optimized adjuvants, rational combinations, adaptive treatment monitoring, refined patient selection, standardized manufacturing, comprehensive pharmacovigilance, and robust real-world evidence. The resulting therapeutic paradigm has the potential to transform vaccination from a preventive public-health intervention into a highly individualized component of precision oncology, provided that scientific innovation remains closely coupled to rigorous evidence generation, clinical safety, and meaningful patient outcomes.

GOAL

The principal goal of this comprehensive scientific appraisal is to systematically characterize the contemporary pharmacological, pharmacotherapeutic, immunological, molecular, and clinical dimensions of anticancer vaccine development and therapeutic implementation. Particular emphasis is placed on elucidating mechanisms of vaccine-mediated antitumor immunity, antigen selection, neoantigen identification, molecular personalization, immunogenicity, therapeutic efficacy, and pharmacodynamic determinants of clinical response. The analysis further aims to critically evaluate toxicity profiles, immunosafety, adverse-event patterns, pharmacovigilance requirements, therapeutic benefit–risk relationships, treatment monitoring, and clinically meaningful outcomes, including objective response, progression-free survival, overall survival, recurrence control, and quality of life. An additional objective is to integrate evidence-based medicine, precision oncology, clinical pharmacology, translational research, and real-world evidence to identify determinants of treatment effectiveness and patient heterogeneity. Ultimately, this appraisal seeks to establish a scientifically coherent framework for optimizing individualized anticancer vaccine strategies, rational therapeutic combinations, longitudinal safety surveillance, and patient-centered clinical decision-making.

METHODOLOGY

The methodological architecture of this scientific appraisal was constructed as an integrative, multidisciplinary, evidence-oriented analytical framework designed to synthesize contemporary knowledge concerning anticancer vaccine pharmacology, pharmacotherapy,

immunobiology, therapeutic efficacy, toxicity, immunosafety, pharmacovigilance, precision medicine, and patient-centered clinical outcomes. The investigation employed a structured narrative and critical evidence-synthesis approach incorporating principles derived from evidence-based medicine, translational oncology, clinical pharmacology, pharmacoepidemiology, immunopharmacology, molecular oncology, and outcomes research.

Relevant scientific evidence was conceptually identified across peer-reviewed biomedical and pharmaceutical literature, with particular consideration given to randomized controlled trials, prospective and retrospective clinical investigations, systematic reviews, meta-analyses, translational studies, pharmacological investigations, pharmacovigilance analyses, real-world evidence, and authoritative clinical or regulatory documents. The analytical framework encompassed major anticancer vaccine platforms, including peptide- and protein-based vaccines, nucleic-acid vaccines, viral-vector systems, dendritic-cell approaches, whole-cell preparations, tumor-associated antigen vaccines, and individualized neoantigen-based formulations.

The methodological assessment incorporated multidimensional evaluation of antigenicity, immunogenicity, antigen processing and presentation, HLA-mediated recognition, T-cell and B-cell activation, innate immune signaling, tumor-microenvironment interactions, immune escape, immunological memory, and mechanisms of therapeutic resistance. Pharmacotherapeutic evaluation emphasized dose–response relationships, administration strategies, pharmacodynamic determinants, therapeutic combinations, treatment sequencing, and interactions with immune-checkpoint inhibitors, chemotherapy, radiotherapy, targeted therapies, and cellular immunotherapies.

Clinical effectiveness was assessed through objective response, disease control, progression-free survival, overall survival, recurrence-free survival, duration of response, quality of life, and patient-reported outcomes. Safety assessment incorporated adverse-event characterization, immune-mediated toxicities, serious adverse reactions, treatment discontinuation, delayed toxicity, and benefit–risk evaluation. Pharmacovigilance considerations included adverse-event detection, signal identification, causality assessment, risk stratification, longitudinal monitoring, and real-world safety surveillance.

The synthesized evidence was critically interpreted according to methodological rigor, biological plausibility, clinical relevance, consistency, translational applicability, and limitations of existing evidence, enabling formulation of an integrated framework for precision-guided anticancer vaccine pharmacotherapy and optimization of therapeutic outcomes.

RESULTS AND DISCUSSION

The integrated analysis demonstrates that contemporary anticancer vaccine science can no longer be conceptualized exclusively as an extension of conventional immunization technology. Rather, anticancer vaccines represent a highly complex pharmacotherapeutic modality positioned at the convergence of molecular oncology, tumor immunology, clinical pharmacology, pharmacogenomics, precision medicine, translational therapeutics, pharmacovigilance, and outcomes research. The principal finding emerging from the comprehensive assessment is that therapeutic success is determined not by vaccine administration alone, but by the interaction of antigenic architecture, host immunobiology, tumor evolution, vaccine platform, delivery characteristics, treatment sequencing, concomitant pharmacotherapy, immune competence, and longitudinal clinical monitoring. Consequently, the therapeutic value of anticancer vaccination is best interpreted through an integrated benefit–

risk paradigm rather than through isolated measures of immunogenicity.

A central result of the analytical synthesis is the progressive transition from empirically selected tumor antigens toward molecularly defined and increasingly individualized antigenic targets. Earlier generations of cancer vaccines frequently relied upon shared tumor-associated antigens, differentiation antigens, overexpressed proteins, tumor lysates, or broadly immunogenic cellular preparations. Contemporary approaches increasingly exploit tumor-specific genomic alterations and neoantigenic determinants generated through somatic mutation, aberrant splicing, gene fusion, or other molecular abnormalities. This transition represents a fundamental pharmacological and conceptual transformation because the therapeutic target becomes increasingly specific to the malignant clone rather than merely associated with malignant tissue. The resulting increase in molecular specificity theoretically improves discrimination between neoplastic and normal tissues, although clinical effectiveness remains dependent upon antigen expression, processing, presentation, immune recognition, tumor heterogeneity, and preservation of the relevant antigenic determinant during disease evolution.

The analysis further indicates that neoantigen selection constitutes one of the most consequential determinants of personalized vaccine performance. Identification of candidate neoantigens requires integration of tumor genomic sequencing, transcriptomic information, variant calling, HLA typing, peptide-binding prediction, expression analysis, immunogenicity estimation, and increasingly immunopeptidomic validation. Computational prediction alone does not establish biological relevance. A candidate neoantigen must ultimately be processed intracellularly, presented within the appropriate major histocompatibility complex context, recognized by an appropriate T-cell receptor repertoire, and expressed sufficiently within clinically relevant malignant populations. Therefore, the methodological distinction between predicted antigenicity and demonstrated immunogenicity is critical. A computationally attractive peptide may remain therapeutically ineffective if it is poorly processed, inadequately presented, immunologically subdominant, spatially restricted, or absent from dominant tumor clones.

One of the most important findings is therefore the necessity of antigenic prioritization rather than indiscriminate antigen accumulation. Increasing the number of candidate epitopes does not automatically translate into superior clinical activity. Effective vaccine design must balance antigen breadth with antigen quality, clonality, expression stability, HLA compatibility, immunodominance, and resistance to tumor immune escape. Clonal or truncal neoantigens may possess particular strategic value because their distribution across malignant populations can reduce the probability that vaccination selectively eliminates only a minor subclone while leaving antigenically divergent malignant cells unaffected. Nevertheless, clonal architecture differs substantially among malignancies and individual patients, meaning that antigen selection must remain dynamically connected to tumor evolutionary biology.

The evidence synthesis indicates that intratumoral heterogeneity represents a major pharmacological determinant of vaccine efficacy. Tumors are not homogeneous cellular entities but evolving ecosystems containing genetically distinct malignant clones, stromal populations, endothelial cells, infiltrating immune cells, fibroblasts, myeloid populations, and extracellular-matrix components. Consequently, vaccine-induced immune pressure may produce differential selective effects across tumor subpopulations. If a dominant vaccine target is lost through immunoediting, transcriptional suppression, defective antigen processing, HLA downregulation, or clonal replacement, therapeutic activity may diminish despite the persistence of systemic immune responses. This finding supports the development of multi-antigen or adaptive vaccine strategies capable of responding to evolving tumor architecture.

The relationship between vaccination and cancer immunoediting is particularly important. Therapeutic vaccination exerts selective immunological pressure that may eliminate susceptible tumor cells while enriching populations capable of immune evasion. Such evolutionary dynamics should not necessarily be interpreted as evidence of therapeutic failure in a simplistic sense. Instead, they reveal the dynamic interaction between treatment-induced selection and tumor adaptation. The pharmacotherapeutic implication is that longitudinal molecular monitoring may become increasingly important for identifying emerging antigen-loss variants, alterations in HLA expression, or changes in tumor immune phenotype. This creates a rationale for adaptive treatment strategies in which vaccine composition, combination therapy, or sequencing is modified according to evolving biological information.

Another major finding concerns the distinction between immunogenicity and therapeutic efficacy. The generation of antigen-specific T cells, increased cytokine production, antibody responses, or measurable immune-cell expansion demonstrates biological activity but does not necessarily establish clinically meaningful antitumor benefit. Clinical efficacy requires translation of immune activation into tumor control, disease stabilization, recurrence prevention, delayed progression, or survival improvement. Therefore, vaccine-development programs that rely predominantly on immunological surrogate endpoints may overestimate therapeutic value if those responses are not correlated with validated clinical outcomes.

The analysis suggests that the pharmacodynamic evaluation of anticancer vaccines should consequently incorporate multiple biological layers. Peripheral immune-cell expansion, T-cell receptor repertoire diversification, cytokine signatures, immune-cell functional assays, tumor infiltration, circulating tumor DNA, radiographic response, and longitudinal survival outcomes may provide complementary information. No single biomarker adequately captures the entire pharmacodynamic spectrum. A multidimensional biomarker architecture may therefore offer greater predictive and explanatory power than isolated immunological measurements.

Particularly important is the emerging role of molecular residual disease as a potential bridge between immune pharmacodynamics and clinical outcomes. Conventional radiographic assessment may fail to identify microscopic residual disease or may demonstrate changes only after substantial temporal delay. Circulating tumor DNA and related liquid-biopsy approaches provide an opportunity to monitor tumor-derived molecular signals longitudinally. Declining or undetectable molecular residual disease following vaccination could potentially provide an early indicator of therapeutic activity, whereas persistent or re-emerging molecular abnormalities may indicate incomplete tumor eradication or evolving resistance. Nevertheless, analytical sensitivity, biological variability, tumor shedding characteristics, assay standardization, and disease-specific performance must be carefully considered before such biomarkers can be universally incorporated into therapeutic decision-making.

The results further demonstrate that the biological activity of anticancer vaccines is profoundly dependent upon the tumor microenvironment. Even a highly immunogenic vaccine may produce limited therapeutic effects if activated lymphocytes cannot access malignant tissue, become functionally suppressed, or encounter an immunosuppressive metabolic environment. Tumor-associated macrophages, regulatory T cells, myeloid-derived suppressor cells, cancer-associated fibroblasts, inhibitory cytokines, hypoxia, abnormal vasculature, extracellular-matrix barriers, and altered nutrient availability can collectively constrain immune-mediated tumor elimination. Thus, vaccine pharmacotherapy cannot be fully optimized without considering the spatial and functional architecture of the tumor microenvironment.

This finding provides a mechanistic rationale for combination therapy. Checkpoint inhibitors may restore functionality in exhausted T cells, whereas vaccines can increase the frequency and

specificity of tumor-reactive lymphocytes. The combination is therefore pharmacologically complementary: vaccination may provide or amplify antigen-specific immune priming, while checkpoint blockade may remove inhibitory signaling that restricts effector function. However, the relationship is not automatically synergistic. Excessive immune activation, overlapping inflammatory toxicities, heterogeneous tumor biology, and inappropriate patient selection may compromise the therapeutic index. Consequently, combination regimens should be designed according to mechanistic complementarity rather than merely combining multiple immunologically active agents.

The same principle applies to chemotherapy. Conventional cytotoxic agents have historically been viewed primarily as immunosuppressive because of their effects on proliferating immune cells. However, selected chemotherapeutic interventions can modify the tumor microenvironment, increase antigen release, alter immunogenic cell death, reduce immunosuppressive populations, or enhance tumor antigen availability. The analysis therefore supports a more sophisticated interpretation of chemotherapy–vaccine combinations in which cytotoxic treatment may, under appropriate conditions, function as an immunomodulatory component. The therapeutic challenge lies in identifying doses and schedules that maximize favorable immunological effects without producing excessive lymphodepletion or impairing vaccine-induced immune priming.

Radiotherapy similarly possesses dual pharmacological relevance. Local radiation can induce tumor-cell death, increase antigen release, alter antigen presentation, and influence inflammatory signaling. These effects create a theoretical and experimentally supported basis for combining localized radiation with systemic vaccination. Nevertheless, radiation-induced tissue injury can also contribute to inflammatory toxicity and may affect immune-cell trafficking in complex ways. The optimal integration of radiotherapy therefore requires careful consideration of anatomical site, dose, fractionation, sequencing, and the immunological status of the patient.

Targeted therapies provide another potentially important combinatorial framework. Molecularly targeted drugs can modify oncogenic signaling pathways that influence antigen expression, interferon responsiveness, apoptosis, tumor metabolism, or immune-cell interactions. In some circumstances, suppression of an oncogenic pathway may render malignant cells more visible to the immune system. In others, targeted treatment may reduce tumor burden sufficiently to improve the effectiveness of immune-mediated elimination. The results indicate that future combination strategies should therefore be guided by mechanistic pharmacology and biomarker-defined patient selection rather than by empirical co-administration.

A particularly significant result concerns treatment sequencing. The order in which anticancer interventions are administered may materially influence immune priming, antigen availability, lymphocyte functionality, tumor burden, and toxicity. Vaccine administration before immune checkpoint blockade may establish antigen-specific populations that can subsequently be functionally enhanced. Conversely, checkpoint inhibition before vaccination may alter the immune landscape in a manner that influences subsequent priming. Chemotherapy or radiation administered at carefully selected intervals may modify antigen release or immune-cell composition. Therefore, sequence represents a pharmacological variable rather than a merely logistical consideration.

Tumor burden also emerged as an important determinant of therapeutic responsiveness. High-volume, rapidly progressive disease may contain extensive immunosuppressive architecture and greater antigenic heterogeneity, potentially reducing the effectiveness of vaccine-induced

immune responses. By contrast, vaccination in settings of minimal residual disease or after successful cytoreduction may allow a smaller number of malignant cells to be targeted by an established immune response. This observation supports investigation of vaccines in adjuvant, maintenance, consolidation, or minimal-residual-disease settings rather than restricting therapeutic vaccination to advanced refractory disease.

The prevention of recurrence may consequently represent one of the most clinically meaningful applications of therapeutic cancer vaccination. Following definitive local treatment, microscopic residual malignant cells may remain despite the absence of radiographically detectable disease. A vaccine capable of generating durable immune surveillance could theoretically target residual malignant populations and delay or prevent recurrence. The appropriate endpoints in such settings differ from those used in metastatic disease. Recurrence-free survival, disease-free survival, molecular residual disease, time to recurrence, and long-term overall survival become particularly relevant.

The results emphasize that anticancer vaccine pharmacology must also account for the kinetics of immune response. Conventional pharmacotherapy often produces relatively rapid exposure–response relationships, whereas vaccine-induced immunity may require priming, clonal expansion, differentiation, memory formation, and repeated antigenic stimulation. Consequently, therapeutic effects may emerge later than those of cytotoxic or targeted agents. This temporal distinction creates methodological challenges for conventional clinical trial design because early radiographic progression may not always reflect irreversible therapeutic failure in immunologically active treatment contexts.

Delayed response patterns and atypical response trajectories therefore require careful clinical interpretation. Apparent enlargement of lesions may result from inflammatory infiltration rather than immediate malignant progression, although true progression can occur concurrently. The clinical differentiation between immune-mediated inflammatory change and disease progression requires integration of imaging, symptoms, biomarkers, serial assessment, and clinical judgment. This finding reinforces the need for response-assessment frameworks capable of accommodating the biological characteristics of immunotherapeutic interventions.

The pharmacodynamic duration of vaccine-induced immunity is another major consideration. Effective vaccination should ideally produce not only short-lived effector responses but durable memory populations capable of responding to subsequent tumor-antigen exposure. Memory T-cell differentiation, tissue-resident lymphocytes, memory B-cell populations, and persistent antigen-specific immune surveillance may contribute to long-term protection. However, memory quality may vary according to antigen, vaccination platform, adjuvant, dosing schedule, tumor burden, and concomitant treatment. Consequently, the durability of immune protection should be assessed longitudinally rather than inferred from early post-vaccination immune measurements.

The analysis further indicates that repeated vaccination may have both beneficial and limiting consequences. Booster administration can reinforce immune memory and increase the frequency of antigen-specific clones. However, repeated exposure may also alter immune-cell composition, induce diminishing responses, or select for antigen-negative tumor populations. Optimal vaccination schedules should therefore be biologically justified rather than determined solely by conventional immunization paradigms.

The selection of vaccine platform represents another major determinant of pharmacological behavior. Peptide vaccines offer molecular specificity and manufacturing flexibility but may require potent adjuvantation and appropriate HLA compatibility. Protein-based vaccines provide broader antigenic material but depend heavily on processing and presentation. DNA

and messenger-RNA platforms permit intracellular antigen production and potentially rapid manufacturing, while viral vectors may provide strong innate and adaptive immune activation but introduce concerns related to vector immunity and repeated administration. Dendritic-cell vaccines provide an ex vivo cellular engineering approach that can optimize antigen presentation but involve complex manufacturing, individualized production, and logistical demands. Whole-cell or tumor-lysate approaches provide broad antigenic repertoires but sacrifice some molecular precision.

These platform differences demonstrate that the term “anticancer vaccine” encompasses pharmacologically heterogeneous interventions. Consequently, class-wide conclusions should be interpreted cautiously. Efficacy, toxicity, pharmacokinetics, immunogenicity, manufacturing requirements, and therapeutic combinations may differ substantially between platforms. Comparative research should therefore stratify findings according to vaccine technology rather than treating all vaccines as mechanistically interchangeable.

Nucleic-acid vaccine platforms deserve particular attention because they illustrate the increasing convergence between molecular engineering and pharmacology. Messenger-RNA approaches permit transient intracellular production of encoded antigens, while DNA-based platforms use nucleic-acid delivery to support antigen expression. Their therapeutic behavior depends on cellular uptake, intracellular trafficking, translational efficiency, innate immune sensing, degradation kinetics, tissue distribution, and formulation characteristics. Delivery technologies, including lipid-based systems and other nanoscale carriers, can substantially influence these processes. Consequently, formulation science becomes an integral component of vaccine pharmacology.

Nanotechnology has further expanded the potential pharmacological control of vaccine delivery. Nanoparticle-based formulations may modify antigen stability, cellular uptake, lymphatic trafficking, dendritic-cell targeting, and release kinetics. They may also permit co-delivery of antigens and immunomodulatory components. However, increased formulation complexity introduces additional considerations related to biodistribution, manufacturing consistency, immunotoxicity, biodegradation, and regulatory characterization. The therapeutic advantage of nanoscale delivery must therefore be demonstrated against its additional safety and manufacturing complexity.

Route of administration similarly affects pharmacodynamic behavior. Intradermal, subcutaneous, intramuscular, intravenous, intratumoral, and other approaches produce different anatomical exposure patterns and interact with distinct immune-cell populations. Local administration may facilitate antigen delivery to immune-rich tissues or directly modify the tumor microenvironment, whereas systemic administration may support broader distribution. The optimal route is therefore dependent upon platform, tumor location, target biology, formulation, and desired immune response.

Adjuvant selection is equally consequential. An adjuvant can amplify innate immune signaling and improve antigen presentation, but excessive stimulation may increase systemic inflammatory toxicity. The optimal adjuvant should therefore maximize productive immunological activation while preserving tolerability. Adjuvant pharmacology should be incorporated into dose optimization, especially when vaccines are combined with checkpoint inhibitors or other immune-active therapies.

The evidence synthesis also identifies host immunological status as a major source of interindividual variability. Age, previous treatment exposure, immunosuppressive medication, nutritional status, comorbidities, microbiome composition, hematological reserve, HLA genotype, and baseline immune-cell populations can influence vaccine responsiveness. Older

patients may possess immunosenescent features, whereas heavily pretreated individuals may have impaired lymphocyte function or altered immune repertoires. Such variability supports the development of patient-selection algorithms that incorporate immunological and clinical characteristics rather than relying exclusively on tumor histology.

Pharmacogenomic information may become increasingly relevant in this context. HLA genotype directly affects peptide presentation, while other germline and somatic genetic determinants may influence immune responsiveness. The integration of genomic information into vaccine design therefore extends precision medicine beyond tumor-target selection toward individualized prediction of immune recognition. Nevertheless, the predictive validity of individual biomarkers remains heterogeneous, and multimodal models may be more informative than isolated genomic variables.

The tumor mutational landscape also influences vaccine feasibility. Tumors with high mutational burden may contain larger numbers of potential neoantigens, although mutation quantity alone does not guarantee immunogenicity. The functional quality of mutations, clonality, transcriptional expression, HLA presentation, and immune accessibility remain critical. Conversely, tumors with relatively low mutational burdens may still contain therapeutically valuable antigens arising from gene fusions, aberrant expression, viral proteins, or other molecular abnormalities.

The results therefore support an antigen-quality framework rather than a simple mutation-count paradigm. Candidate antigens should be prioritized according to molecular authenticity, expression, clonality, HLA presentation, immunogenicity, tumor specificity, evolutionary stability, and therapeutic accessibility. Such multidimensional prioritization could improve the clinical efficiency of personalized vaccine development.

Artificial intelligence and machine-learning approaches may substantially facilitate this process. Computational algorithms can integrate genomic, transcriptomic, proteomic, HLA, immunopeptidomic, and clinical data to identify candidate epitopes and predict immunogenicity. However, algorithmic prediction remains probabilistic and susceptible to dataset bias, inadequate validation, and biological complexity. The results therefore support AI as a decision-support technology rather than a substitute for experimental and clinical validation.

An important finding concerns the necessity of prospective validation of computational predictions. Candidate neoantigens identified in silico should ideally be evaluated through appropriate laboratory assays examining antigen processing, HLA presentation, T-cell activation, and functional cytotoxicity. Integration of computational and experimental evidence can reduce false-positive antigen selection and strengthen the translational reliability of individualized vaccine design.

The analysis further identifies tumor antigen loss as one of the central mechanisms of vaccine resistance. Malignant cells can escape immune pressure through downregulation or deletion of target antigens, defects in antigen-processing machinery, HLA loss, impaired interferon signaling, or alterations in immune recognition pathways. These mechanisms demonstrate that effective vaccine design must anticipate evolutionary escape rather than treating tumor antigenicity as static.

Combination strategies may mitigate antigen-loss resistance by simultaneously targeting multiple independent antigens or by combining vaccination with therapies that restore antigen presentation. Multi-epitope vaccines may reduce the probability that a single antigenic alteration will eliminate immune recognition. However, increasing antigen breadth can also increase manufacturing complexity and potentially generate immunodominance competition.

Rational antigen architecture is therefore preferable to indiscriminate epitope expansion.

The tumor microenvironment also contributes to immune resistance through metabolic mechanisms. Hypoxia, glucose deprivation, altered lipid metabolism, extracellular adenosine, lactate accumulation, and nutrient competition can impair lymphocyte function. Consequently, immunological activation alone may be insufficient when effector cells encounter metabolically hostile conditions. Pharmacological modulation of tumor metabolism may therefore represent an important future adjunct to vaccination.

Myeloid-cell populations constitute another critical therapeutic determinant. Tumor-associated macrophages and myeloid-derived suppressor cells can inhibit T-cell activation, promote angiogenesis, facilitate invasion, and support immune tolerance. Strategies that modify myeloid-cell recruitment or polarization may consequently enhance vaccine-mediated immunity. However, broad depletion of myeloid populations may produce unintended effects because these cells also contribute to tissue repair and host defense. Selective modulation rather than indiscriminate elimination may therefore provide a more favorable therapeutic balance.

Regulatory T cells represent an additional barrier to effective vaccination. Their immunosuppressive activity can restrict effector-cell function and promote tolerance within the tumor microenvironment. Pharmacological strategies that modulate regulatory T-cell activity could theoretically improve vaccine effectiveness, but systemic disruption of immune tolerance carries a risk of autoimmunity and inflammatory toxicity. This illustrates the central therapeutic challenge of cancer immunotherapy: increasing antitumor immunity while maintaining sufficient self-tolerance.

The safety analysis demonstrates that the toxicity profile of anticancer vaccines differs conceptually from that of traditional cytotoxic agents. Vaccine-associated adverse events may arise from local inflammatory responses, systemic cytokine signaling, adjuvant effects, immune activation, autoimmune phenomena, or interactions with other immunotherapies. The severity and clinical significance of these events depend upon platform, antigen, adjuvant, combination therapy, patient susceptibility, and treatment schedule.

Local administration-site reactions may represent common manifestations of immune activation, whereas systemic inflammatory symptoms can include fever, fatigue, chills, malaise, or transient constitutional effects. Although many events may be manageable, rare immune-mediated toxicities can be clinically consequential, particularly when vaccines are combined with immune checkpoint blockade. Therefore, safety assessment must extend beyond frequency counts to include severity, reversibility, duration, organ involvement, temporal association, management requirements, and long-term consequences.

The analysis emphasizes that pharmacovigilance for anticancer vaccines requires specialized causality assessment. In combination regimens, attribution of an adverse event to a single component may be difficult because multiple interventions can produce overlapping inflammatory or immune-mediated effects. Traditional temporal association alone is insufficient. Clinical assessment should integrate treatment chronology, biological plausibility, alternative explanations, concomitant medications, dose relationships, dechallenge and rechallenge information where ethically appropriate, laboratory findings, and known safety profiles.

Serious adverse-event monitoring is particularly important because some immune-mediated complications may emerge after substantial treatment delay. Longitudinal follow-up is therefore essential. Conventional trial follow-up periods may be insufficient to characterize delayed autoimmune or inflammatory outcomes, especially for interventions designed to generate durable immune memory. Pharmacovigilance systems should consequently

incorporate extended surveillance.

The results also demonstrate the importance of distinguishing vaccine-related toxicity from disease-related symptoms and treatment-related effects of combination therapies. Fatigue, fever, inflammatory markers, cytopenias, gastrointestinal symptoms, endocrine disturbances, dermatological manifestations, and organ-specific abnormalities may have multiple possible causes. Multidisciplinary clinical assessment is therefore essential for accurate attribution and management.

Clinical pharmacists may occupy a particularly important position in this safety architecture. Their expertise in medication reconciliation, interaction assessment, adverse-event monitoring, supportive pharmacotherapy, adherence, dose modification, and patient education can strengthen the safe implementation of complex vaccine-containing regimens. As anticancer therapy becomes increasingly multimodal, medication-management expertise becomes more important rather than less.

Drug–vaccine interactions should also be considered within the broader pharmacotherapeutic framework. Immunosuppressive corticosteroids, cytotoxic chemotherapy, targeted agents, antimicrobial therapies, supportive medications, and other drugs may alter immune responsiveness or modify adverse-event presentation. The clinical significance of such interactions depends upon dose, timing, treatment duration, mechanism, and patient-specific factors. Consequently, medication history should be incorporated into vaccine treatment planning.

The analysis further identifies corticosteroid exposure as a particularly nuanced issue. Corticosteroids may be necessary for management of certain inflammatory complications but can theoretically suppress vaccine-induced immune responses when used during critical phases of immune priming. The clinical balance between controlling harmful inflammation and preserving therapeutic immunity therefore requires individualized assessment. Blanket avoidance or universal continuation of immunosuppressive therapy is unlikely to be appropriate across all clinical contexts.

The benefit–risk relationship is another central result. Anticancer vaccine development should not be judged exclusively according to whether an immune response is generated or whether statistical significance is achieved for an isolated endpoint. Therapeutic value requires consideration of magnitude of benefit, durability, toxicity, quality of life, treatment burden, alternative therapies, patient preferences, cost, and feasibility. A modest increase in progression-free survival may be highly meaningful in one clinical context but less compelling when accompanied by substantial toxicity or complex treatment requirements.

Patient-centered outcomes therefore represent a critical component of vaccine evaluation. Overall survival remains an essential endpoint, but patients may also value symptom control, functional status, independence, treatment convenience, psychological well-being, and quality of life. Patient-reported outcomes should be incorporated systematically into clinical research because conventional tumor measurements may fail to capture meaningful changes in lived health status.

Treatment burden is particularly relevant for personalized vaccines. Individualized manufacturing may require multiple procedures, molecular sequencing, bioinformatic processing, quality-control stages, specialized administration, and repeated clinical visits. Such complexity can create logistical burdens for patients and healthcare systems. Consequently, the clinical value of personalization should be evaluated against the resources required to deliver it.

The economic analysis of personalized vaccination is therefore inherently multidimensional.

Costs may include genomic sequencing, bioinformatics, vaccine manufacture, quality assurance, clinical administration, monitoring, adverse-event management, hospitalization, and long-term surveillance. Economic value should not be assessed solely by acquisition cost. Prevention of recurrence, reduction of subsequent treatment requirements, prolonged survival, and improved quality of life may alter the overall cost-effectiveness profile.

Healthcare-system capacity also influences real-world effectiveness. A highly sophisticated individualized vaccine may demonstrate impressive efficacy in specialized academic centers while remaining difficult to implement in resource-constrained environments. The translational pathway from clinical trial to routine care therefore requires assessment of laboratory infrastructure, manufacturing capability, molecular diagnostics, specialist expertise, data systems, regulatory pathways, and reimbursement mechanisms.

The results consequently indicate a distinction between efficacy and effectiveness. Efficacy describes performance under controlled research conditions, whereas effectiveness reflects outcomes under routine clinical conditions characterized by heterogeneous patients, variable adherence, comorbidities, treatment interruptions, institutional differences, and resource constraints. Real-world evidence is therefore essential for determining whether the benefits observed in controlled studies remain reproducible at population level.

Real-world pharmacovigilance can provide information that randomized trials are structurally limited in capturing. Rare adverse events, long-term outcomes, off-label combinations, diverse populations, elderly patients, patients with comorbidities, and complex polypharmacy are often underrepresented in clinical trials. Spontaneous reporting systems, electronic health records, registries, insurance datasets, and distributed real-world data networks can therefore complement controlled clinical evidence.

Nevertheless, real-world evidence requires methodological discipline. Confounding by indication, selection bias, missing data, exposure misclassification, immortal-time bias, surveillance bias, and differences in clinical practice can distort associations. Advanced pharmacoepidemiological methods, propensity-based approaches, target-trial emulation, sensitivity analyses, and causal-inference frameworks can improve interpretability.

Causal inference is especially important when evaluating combination immunotherapies. Patients receiving highly intensive treatment may differ systematically from those receiving less intensive regimens. Better outcomes may therefore reflect baseline prognostic differences rather than treatment effects. Conversely, apparently unfavorable outcomes may reflect preferential treatment of high-risk patients. The analysis supports rigorous causal frameworks to distinguish therapeutic effects from treatment-selection effects.

Clinical trial heterogeneity represents another important methodological issue. Vaccine studies differ in cancer type, disease stage, antigen target, vaccine platform, adjuvant, combination therapy, dosing schedule, endpoint definitions, biomarker strategies, and follow-up duration. Direct comparison across studies can therefore be problematic. Evidence synthesis should account for these sources of heterogeneity rather than assuming interchangeability.

The use of standardized endpoint definitions and harmonized reporting frameworks would improve cross-study comparability. Detailed reporting of vaccine composition, antigen-selection algorithms, HLA characteristics, immune-monitoring methods, manufacturing parameters, concomitant therapies, toxicity definitions, and follow-up duration is particularly important for personalized therapeutic platforms.

The results also highlight the importance of regulatory science. Personalized anticancer vaccines challenge conventional pharmaceutical regulatory models because the final therapeutic product may differ between individual patients. Regulatory systems must therefore

evaluate manufacturing processes, platform consistency, computational antigen selection, quality-control criteria, release specifications, and clinical evidence in ways that preserve safety without unnecessarily restricting innovation.

Manufacturing reproducibility is a critical issue. Individualized products may involve short production timelines and highly complex workflows. Quality-control processes must ensure identity, purity, potency, sterility, stability, and consistency while accommodating patient-specific sequence information. The integration of automation, standardized manufacturing platforms, validated computational pipelines, and centralized quality systems may improve scalability.

The analytical findings further suggest that digitalization will become increasingly important. Electronic health records, molecular databases, pharmacovigilance platforms, wearable technologies, remote monitoring, and patient-reported digital outcomes can create longitudinal datasets linking treatment exposure, biological response, toxicity, and clinical outcomes. Such integrated data architecture could substantially improve individualized therapeutic monitoring. Digital pharmacovigilance may facilitate earlier recognition of adverse-event patterns. Automated signal detection can identify unusual clusters of symptoms or laboratory abnormalities, while natural-language processing may extract safety information from clinical documentation. However, algorithmic detection must be followed by expert clinical validation because automated signals may reflect documentation artifacts, coding changes, or noncausal associations.

The analysis also identifies the importance of patient participation in pharmacovigilance. Patients may experience symptoms that are not immediately communicated through conventional clinical pathways. Digital reporting systems and patient-reported adverse-event platforms could expand the sensitivity of safety surveillance. However, such systems must incorporate appropriate clinical triage and data-quality mechanisms.

The psychological dimension of personalized immunotherapy should not be overlooked. Patients may perceive individualized vaccine therapy as technologically sophisticated and therefore expect substantial therapeutic benefit. Accurate communication concerning uncertainty, probability of response, potential toxicity, manufacturing limitations, and alternative treatments is essential to avoid unrealistic expectations. Shared decision-making should therefore accompany precision therapeutic design.

Ethical considerations become particularly important when individualized molecular information is used to construct therapeutic products. Genomic sequencing generates information with implications for privacy, data governance, incidental findings, familial relevance, and long-term data storage. Ethical frameworks must therefore extend beyond conventional informed consent to address the lifecycle of molecular data.

The analysis further supports integration of tumor genomics with host genomics. Precision oncology has historically focused predominantly on somatic tumor alterations, but immune-mediated therapy is intrinsically influenced by host characteristics. HLA genotype, germline immune-related variants, age-related immune changes, and other host factors may influence vaccine responsiveness. Future therapeutic algorithms may therefore require joint tumor–host molecular profiling.

Microbiome biology represents another emerging determinant of immunotherapy response. Gut microbial composition can influence immune tone, antigen presentation, metabolic signaling, and response to certain immunotherapies. Although causal relationships remain incompletely characterized, microbiome-related variables may eventually become components of individualized therapeutic prediction. The analysis cautions, however, against premature

clinical adoption without robust validation.

The interaction between nutrition and immunological responsiveness similarly merits further investigation. Protein-energy malnutrition, micronutrient deficiency, obesity, metabolic syndrome, and altered lipid metabolism may influence immune-cell function and treatment tolerance. Nutritional assessment could therefore become a supportive component of comprehensive vaccine pharmacotherapy.

Comorbidities also contribute to treatment heterogeneity. Cardiovascular disease, renal impairment, hepatic dysfunction, autoimmune conditions, endocrine disorders, and chronic inflammatory diseases may alter treatment eligibility, toxicity risk, or immune responsiveness. Although anticancer vaccines may have different organ-specific toxicity profiles from conventional chemotherapy, comorbidity assessment remains essential for individualized treatment planning.

The results indicate that geriatric oncology presents a particularly important area for further investigation. Older patients are frequently underrepresented in early clinical trials despite representing a substantial proportion of cancer populations. Immunosenescence, polypharmacy, frailty, altered pharmacological handling of concomitant medications, and competing mortality risks can influence treatment outcomes. Vaccine research should therefore incorporate geriatric-specific endpoints and real-world evidence.

Pediatric and adolescent oncology presents a different translational context. Tumor biology, immune development, ethical requirements, and long-term survivorship considerations differ from adult cancer populations. The potential for durable immune surveillance may be particularly valuable in younger populations, but long-term safety and developmental considerations require dedicated investigation.

The results also support investigation of sex-related biological differences in vaccine response. Hormonal, genetic, immunological, and behavioral factors may contribute to differential treatment effects. Clinical trials should therefore examine sex-stratified efficacy and safety rather than treating demographic differences as secondary variables.

The role of ethnicity and population diversity also warrants greater attention. HLA allele frequencies and genetic determinants of antigen presentation vary among populations, potentially influencing neoantigen selection and vaccine responsiveness. Underrepresentation of diverse populations could therefore create inequities in the applicability of individualized vaccine technologies. Global vaccine development should prioritize representative datasets and equitable access to molecular diagnostics.

The analytical synthesis further demonstrates that cancer vaccine pharmacotherapy is inherently longitudinal. A single baseline characterization cannot fully capture a tumor that evolves under therapeutic pressure. Repeated genomic profiling, immune monitoring, imaging, circulating biomarkers, and clinical assessment may therefore be necessary. Adaptive treatment models can incorporate this evolving information to modify therapeutic strategies.

Adaptive vaccination represents a particularly promising conceptual development. Instead of treating the vaccine formulation as permanently fixed, future systems may permit modification according to emerging tumor antigens or resistance-associated alterations. Such strategies would transform therapeutic vaccination into a dynamic pharmacological intervention responsive to tumor evolution.

The feasibility of adaptive strategies depends on manufacturing speed. Personalized vaccine production must occur rapidly enough to remain biologically relevant to the patient's disease trajectory. Accelerated sequencing, automated bioinformatics, modular manufacturing, and decentralized production could improve responsiveness. Nevertheless, rapid manufacturing

must not compromise quality-control standards.

The integration of artificial intelligence into adaptive treatment planning may further enhance responsiveness. Machine-learning systems could analyze serial molecular data, imaging, immune signatures, and clinical outcomes to estimate emerging resistance and propose candidate treatment modifications. However, clinical implementation requires prospective validation, interpretability, external validation, and rigorous governance.

Another major finding concerns the potential role of therapeutic vaccination in combination with cellular therapies. Adoptive T-cell approaches and chimeric antigen receptor technologies can provide large numbers of engineered or selected effector cells. Vaccination may theoretically broaden or sustain endogenous immune responses after cellular therapy. Conversely, cellular therapies may amplify responses generated by vaccination. Such combinations could create complementary mechanisms of tumor targeting, although cumulative immune toxicity remains a major consideration.

Antibody-mediated immunity also deserves attention. Although T-cell responses have traditionally dominated therapeutic vaccine research, B-cell activation and antibody production may contribute to tumor recognition, complement activation, antibody-dependent cellular cytotoxicity, and antigen presentation. Some tumor-associated antigens may therefore be susceptible to coordinated cellular and humoral immune responses. Vaccine design should not automatically assume that one arm of adaptive immunity is therapeutically sufficient.

The analysis further supports investigation of tertiary lymphoid structures and organized intratumoral immune architecture. The presence of structured immune-cell niches may influence the capacity of vaccine-induced lymphocytes to establish local antitumor responses. Tissue-level immune organization may therefore complement peripheral immune measurements as a predictor of therapeutic effectiveness.

Spatial biology may provide additional information unavailable through conventional molecular profiling. Spatial transcriptomics, multiplex imaging, and single-cell technologies can characterize the anatomical relationships among tumor cells, antigen-presenting cells, lymphocytes, macrophages, fibroblasts, and vascular structures. Such approaches may identify why a vaccine-induced immune response fails to translate into tumor elimination despite robust systemic immunogenicity.

Single-cell analysis further demonstrates that immune responses are heterogeneous at cellular level. T-cell populations can differ in exhaustion status, differentiation, clonality, metabolic state, and functional capacity. A quantitative increase in total T cells may therefore conceal an unfavorable shift in functional composition. Pharmacodynamic assessment should consequently consider cellular quality as well as cellular quantity.

T-cell receptor repertoire analysis may provide another valuable biomarker. Expansion of specific clones following vaccination can demonstrate antigen-directed immune selection, while persistence of those clones may indicate immunological memory. However, clonotype expansion alone does not establish tumor specificity, and functional validation remains essential.

The relationship between immune activation and systemic toxicity also requires careful evaluation. Stronger immune activation is not necessarily equivalent to better therapeutic efficacy. Excessive inflammatory signaling may increase toxicity without proportionally improving tumor elimination. The optimal therapeutic state may therefore involve selective, sustained, tumor-directed immunity rather than maximal generalized immune stimulation.

This observation reinforces the concept of an immunological therapeutic window. Conventional pharmacology frequently conceptualizes the therapeutic window in terms of drug concentration

and toxicity. For vaccines, the relevant window may instead encompass the balance between antigen-specific immune activation, systemic inflammation, autoimmunity, and durable tumor control. Biomarkers capable of quantifying this balance could substantially improve dose and schedule optimization.

The results also suggest that dose escalation paradigms used for cytotoxic drugs may be insufficient for vaccine development. Higher antigen dose or stronger adjuvant stimulation does not necessarily produce proportionally greater therapeutic benefit. Immune responses can exhibit nonlinear relationships with antigen exposure, and excessive stimulation may induce tolerance, exhaustion, or toxicity. Dose-finding should therefore incorporate immunological pharmacodynamics rather than relying exclusively on conventional maximum-tolerated-dose concepts.

The timing of immune monitoring should likewise reflect biological kinetics. Measurements taken too early may underestimate the eventual immune response, while very late measurements may miss transient pharmacodynamic signals. Serial sampling provides a more informative picture of immune trajectory and can identify responders, nonresponders, and emerging resistance patterns.

Clinical response heterogeneity emerged as another consistent finding. Some patients may demonstrate profound and durable responses, while others exhibit minimal biological activity despite apparently similar vaccine exposure. This heterogeneity is unlikely to arise from a single determinant. Rather, it reflects interactions among tumor antigenicity, HLA genotype, immune competence, microenvironmental composition, tumor burden, previous treatment, microbiome, and genetic background.

Responder stratification therefore represents a central objective of future research. Biomarker-defined treatment selection may improve clinical trial efficiency and reduce exposure of unlikely responders to complex personalized interventions. However, restrictive biomarker selection may also exclude patients who could benefit through mechanisms not captured by current predictive models. Therefore, biomarker development should balance precision with inclusiveness.

The evidence further indicates that treatment resistance should be classified mechanistically. Primary resistance occurs when vaccination fails to establish clinically meaningful antitumor activity from the outset, whereas acquired resistance emerges after an initial response. Mechanisms may include inadequate antigen presentation, immune exclusion, checkpoint-mediated suppression, antigen loss, clonal evolution, metabolic adaptation, or immune exhaustion. Mechanism-specific resistance classification can guide rational combination strategies.

The role of immune checkpoint pathways is particularly relevant in acquired resistance. Persistent antigen exposure can lead to T-cell dysfunction, characterized by altered receptor expression, metabolic impairment, and reduced effector activity. Checkpoint blockade can restore certain functions but does not universally reverse advanced exhaustion. Vaccine design may therefore need to consider the differentiation state of available T-cell populations.

The analysis also suggests that vaccines may be more effective when administered before irreversible immune dysfunction develops. This provides a biological rationale for earlier treatment, maintenance strategies, and minimal-residual-disease interventions. In advanced disease, vaccination may still be valuable, but combination approaches may be required to overcome established immune suppression.

From a pharmacotherapeutic perspective, the ideal role of vaccination may therefore differ across disease stages. In prevention, the objective is elimination or prevention of precursor or

premalignant lesions where antigenic burden is limited. In the adjuvant setting, the objective is eradication of microscopic residual disease. In metastatic disease, vaccination may need to operate within a highly immunosuppressive and heterogeneous tumor environment. Consequently, the same vaccine platform may demonstrate substantially different therapeutic performance across clinical contexts.

The results support a stage-specific therapeutic framework in which vaccine strategy is adapted to disease burden, tumor molecular architecture, immune status, and treatment history. Such an approach is more consistent with precision pharmacotherapy than a uniform treatment model.

The integration of pharmacovigilance with therapeutic efficacy assessment is another important result. Safety surveillance should not be treated as a separate post-treatment activity. Adverse-event information can influence treatment sequencing, dose modification, combination selection, patient stratification, and future vaccine design. Continuous safety feedback can therefore function as a component of therapeutic optimization.

Signal detection should incorporate both frequency and clinical seriousness. A rare but severe adverse event may be more important than a frequent mild event. Similarly, a moderate event that becomes substantially more common when a vaccine is combined with another immunotherapy may represent an important interaction signal. Disproportionality analyses, longitudinal cohort studies, and mechanistic investigation can complement spontaneous reporting.

The value of pharmacovigilance is particularly high for personalized vaccines because clinical trials may involve small patient populations. Rare events may therefore not be detectable before widespread implementation. Post-marketing or post-authorization surveillance becomes indispensable for characterizing uncommon toxicities and long-term outcomes.

The analysis further indicates that vaccine traceability is essential. Personalized products must be linked accurately to patient identity, molecular sequence, manufacturing lot, administration date, concomitant therapies, and clinical outcomes. Such traceability supports both pharmacovigilance and quality assurance.

The importance of interdisciplinary collaboration emerges repeatedly throughout the findings. Effective anticancer vaccine development requires oncologists, clinical pharmacologists, immunologists, molecular biologists, bioinformaticians, pharmacists, pharmacovigilance specialists, statisticians, regulatory scientists, pathologists, radiologists, and health economists. Fragmented disciplinary approaches are unlikely to capture the complexity of therapeutic vaccine systems.

Clinical pharmacists can additionally contribute to medication optimization in patients receiving multimodal therapy. Medication reconciliation can identify immunosuppressive drugs, anticoagulants, antimicrobial therapies, supportive medications, and other agents that may influence treatment safety. Pharmacist-led monitoring may also improve adherence to complex schedules and patient understanding of adverse-event management.

The analysis suggests that education of healthcare professionals must evolve accordingly. Traditional oncology training may not adequately cover individualized vaccine manufacturing, molecular diagnostics, pharmacogenomics, immune-mediated toxicities, or advanced pharmacovigilance. Continuing professional development should therefore incorporate these emerging competencies.

Patient education is equally important. Patients should understand that vaccine therapy is not equivalent to preventive vaccination against infectious disease. Therapeutic cancer vaccines are pharmacological interventions designed to stimulate immune recognition of malignant cells. Clear explanation of expected onset, potential delayed response, adverse effects, monitoring

requirements, and uncertainty can support informed participation.

The results also indicate that adherence may have a distinct meaning in individualized immunotherapy. Adherence includes not only taking medication but attending vaccination appointments, completing laboratory monitoring, providing biological samples, undergoing imaging, and reporting symptoms promptly. Complex therapeutic pathways may therefore create adherence vulnerabilities that require structured support.

Real-world implementation further requires reliable diagnostic infrastructure. Personalized neoantigen approaches depend on sequencing quality, bioinformatic interpretation, HLA typing, pathology, and validated molecular laboratories. Unequal access to these resources could create disparities in treatment availability.

Global health considerations are therefore central. High-complexity personalized therapies may initially remain concentrated in technologically advanced centers. Strategies for scalable manufacturing, centralized sequencing, regional distribution, and standardized quality systems could expand access. However, economic and infrastructural barriers must be addressed explicitly.

The analysis also highlights the importance of harmonized international regulatory standards. Differences in requirements for personalized biological products may complicate multinational trials and cross-border implementation. Harmonization could accelerate development while maintaining appropriate safety oversight.

From the perspective of evidence-based medicine, the current evidence base should be interpreted according to hierarchy, methodological quality, consistency, and external validity. Early-phase trials are essential for establishing feasibility and biological activity but generally lack statistical power for definitive clinical efficacy conclusions. Randomized controlled trials provide stronger causal evidence, whereas real-world studies contribute complementary information regarding generalizability and long-term safety.

Systematic reviews and meta-analyses can synthesize evidence but may be limited by heterogeneity among vaccine platforms and clinical settings. Quantitative pooling should therefore be undertaken cautiously when interventions are mechanistically heterogeneous. Narrative and network-based synthesis may sometimes provide more scientifically appropriate interpretation than indiscriminate statistical aggregation.

Surrogate endpoints require particular scrutiny. Increased immune-cell counts, antibody titers, cytokine responses, or biomarker changes may correlate with clinical outcomes but should not automatically be considered substitutes for survival or validated patient-centered endpoints. Surrogacy must be demonstrated empirically within appropriate disease and treatment contexts.

The analysis indicates that future trials should increasingly incorporate composite translational designs linking molecular, immunological, radiographic, and clinical outcomes. Such designs can establish mechanistic pathways from vaccine exposure through immune activation to tumor control and survival. This integrated structure can improve both biological understanding and clinical interpretation.

Adaptive clinical trial methodologies may be particularly suitable for personalized vaccines. Bayesian designs, biomarker-adaptive randomization, platform trials, and seamless phase transitions could accelerate evaluation of multiple vaccine formulations or antigen-selection algorithms. However, methodological sophistication must remain balanced against interpretability and regulatory acceptability.

The findings also support master-protocol approaches. Platform trials could evaluate multiple vaccine platforms, antigenic strategies, or combination therapies within shared infrastructure. This could reduce duplication, accelerate comparison, and permit more efficient evaluation of

emerging technologies.

The concept of platform-based evidence generation is particularly attractive because individualized vaccines can evolve rapidly. Rather than creating a separate conventional trial for every molecular modification, validated manufacturing and analytical platforms could permit structured evaluation of multiple individualized products under a common regulatory and methodological framework.

The analysis further identifies the need for standardized reporting of negative results. Publication bias may disproportionately favor vaccine platforms or antigen strategies showing positive immunogenicity or clinical outcomes. Transparent reporting of unsuccessful antigen targets, manufacturing failures, adverse-event patterns, and negative clinical trials is essential for scientific progress.

The role of open data and reproducible computational methods is similarly important. Neoantigen prediction depends on algorithms whose performance can vary across populations and datasets. Transparent validation, benchmarking, and reproducibility can improve confidence in computationally derived therapeutic decisions.

The synthesis indicates that clinical utility ultimately depends on the ability to convert complex biological information into actionable treatment decisions. Precision oncology should therefore not be defined merely by the quantity of molecular data collected. True precision requires demonstrable improvement in therapeutic selection, outcomes, safety, or efficiency.

This distinction is crucial because technological sophistication does not automatically produce clinical benefit. Whole-genome sequencing, transcriptomics, single-cell analysis, spatial profiling, and AI can generate enormous datasets, but their clinical value depends on validated associations and effective integration into decision pathways. The future of anticancer vaccination should therefore prioritize clinically actionable precision rather than informational complexity for its own sake.

Another important result is the increasing relevance of systems pharmacology. Vaccine-induced immune responses occur within interconnected biological networks rather than isolated molecular pathways. Systems-level modeling can integrate antigen presentation, cytokine signaling, immune-cell interactions, tumor evolution, pharmacological exposure, and clinical outcomes. Such models may provide more realistic predictions of therapeutic response than single-target analyses.

Mechanistic modeling could also assist in treatment sequencing. Mathematical and computational models may estimate how tumor burden, immune-cell expansion, antigen loss, and drug exposure evolve over time. These models could eventually support individualized scheduling decisions, although clinical validation remains necessary.

The integration of systems biology with pharmacovigilance may similarly improve safety prediction. Patients with particular immune profiles or treatment combinations may possess higher risks of specific inflammatory complications. Predictive safety models could identify high-risk individuals before severe toxicity develops, allowing intensified monitoring or prophylactic intervention.

The results also demonstrate that therapeutic vaccination should increasingly be considered a longitudinal pharmacological intervention rather than a discrete treatment event. Its effects can extend across months or years through immune memory, tumor evolution, and delayed clinical outcomes. Consequently, both efficacy and safety assessment must adopt a long-term perspective.

Survivorship research therefore becomes relevant. Patients who achieve prolonged disease control may continue to experience immune-mediated effects, treatment-related sequelae,

psychological consequences, and monitoring burdens. Long-term survivorship outcomes should be incorporated into vaccine-development programs.

The relationship between durable response and immune memory is particularly important. A successful vaccine may theoretically alter the natural history of malignancy by creating persistent immune surveillance. This distinguishes therapeutic vaccination from many conventional pharmacological interventions whose effects diminish rapidly after drug discontinuation. However, durable immune protection must be demonstrated clinically rather than inferred from immunological markers alone.

The analysis suggests that recurrence prevention could become one of the most important long-term endpoints for therapeutic vaccination. If individualized vaccines can effectively eliminate microscopic residual disease, their greatest clinical value may emerge over extended follow-up rather than during initial treatment response assessment.

The evidence further supports combining molecular residual disease monitoring with immune surveillance. Patients with persistent molecular disease despite strong immune activation may require treatment intensification, whereas patients achieving molecular clearance may potentially transition to surveillance. Such strategies remain investigational but illustrate the potential for adaptive precision pharmacotherapy.

The therapeutic significance of tumor evolution should therefore be incorporated into follow-up protocols. Molecular recurrence may precede radiographic progression, creating an opportunity for early therapeutic intervention. If validated, this could transform treatment from reactive management of measurable progression to proactive control of emerging molecular disease.

Another result concerns the potential role of vaccines in altering the evolutionary trajectory of cancer. By targeting multiple tumor-specific antigens, vaccination may constrain clonal diversity and reduce the probability of immune escape. Conversely, strong selective pressure may accelerate emergence of resistant clones. Understanding this balance is essential for designing evolutionary-informed vaccine strategies.

Evolutionary oncology therefore provides an important conceptual framework for therapeutic vaccination. The optimal treatment may not necessarily maximize immediate tumor-cell killing; instead, it may maintain long-term control by preventing expansion of resistant populations. Combination therapy and antigen diversification may be used to reduce evolutionary escape routes.

The results also highlight the potential importance of treatment holidays or modified sequencing in selected circumstances. Continuous pharmacological pressure can impose strong selective forces, whereas strategically designed treatment modulation could potentially preserve sensitive populations or restore immune responsiveness. Such approaches require rigorous clinical testing and should not be generalized without evidence.

The concept of adaptive pharmacotherapy may ultimately extend beyond vaccine composition to the entire treatment regimen. Molecular monitoring could inform whether vaccination, checkpoint blockade, targeted therapy, radiation, or another intervention should be intensified, maintained, substituted, or discontinued.

From a clinical decision-making perspective, this requires development of integrated treatment algorithms that combine tumor molecular characteristics, immune phenotype, disease burden, prior treatment, toxicity risk, patient preferences, and real-world feasibility. Such algorithms should remain transparent and clinically interpretable.

The results also demonstrate that patient preferences may legitimately influence treatment selection. Personalized vaccine therapy can involve substantial procedural and monitoring

requirements. Some patients may prioritize maximal disease control, whereas others may prioritize reduced treatment burden or preservation of quality of life. Shared decision-making should therefore incorporate patient-defined outcomes.

Health-system decision-makers similarly require evidence concerning cost, scalability, infrastructure, and population-level benefit. A therapy can demonstrate statistically significant efficacy yet remain difficult to implement if manufacturing requirements are prohibitive. Conversely, platform technologies that reduce production time and cost may possess substantial health-system value even if their individual clinical effect is moderate.

The pharmacoeconomic evaluation of personalized vaccination should therefore consider downstream consequences. Successful recurrence prevention could reduce subsequent chemotherapy, hospitalization, radiation, surgery, and supportive-care costs. Such downstream effects may substantially influence long-term economic value.

The analysis further identifies an opportunity for decentralized manufacturing and modular vaccine platforms. Centralized facilities may provide quality control but can introduce logistical delays. Regional manufacturing could reduce turnaround times but would require rigorous harmonization and quality assurance. Hybrid models may ultimately provide the best balance between scalability and standardization.

The integration of automation could further improve reproducibility. Automated sequencing pipelines, antigen-selection algorithms, manufacturing systems, and quality-control procedures may reduce human variability. Nevertheless, human oversight remains necessary for clinical interpretation and safety decisions.

The findings collectively demonstrate that anticancer vaccine pharmacotherapy is evolving from a relatively static concept of antigen delivery toward an adaptive, data-intensive therapeutic ecosystem. This ecosystem incorporates molecular diagnostics, individualized antigen selection, immune modulation, multimodal treatment, longitudinal monitoring, pharmacovigilance, and patient-centered outcomes.

The central scientific implication is that therapeutic efficacy cannot be attributed to the vaccine formulation alone. Outcomes arise from the interaction between vaccine characteristics and the biological state of the patient and tumor. Consequently, future clinical trials should increasingly characterize the complete therapeutic context rather than treating vaccine exposure as the sole explanatory variable.

A second major implication is that pharmacology must expand beyond conventional exposure-based concepts. In anticancer vaccination, pharmacological behavior includes antigen expression, immune-cell activation, cellular trafficking, immune memory, tumor evolution, and interactions with the host immune network. The pharmacodynamic endpoint is therefore multidimensional and temporally dynamic.

A third implication concerns pharmacovigilance. Safety monitoring should become integrated with precision medicine rather than functioning solely as a post-authorization surveillance mechanism. Molecular and immunological characteristics may eventually contribute to individualized toxicity prediction, enabling risk-adapted monitoring.

A fourth implication concerns evidence-based medicine. The rapidly changing technological environment requires evidence frameworks capable of accommodating individualized products, adaptive trial designs, real-world data, and dynamic treatment algorithms. Traditional hierarchical evidence models remain important but may require methodological adaptation to complex personalized interventions.

A fifth implication concerns clinical pharmacotherapy. Vaccine therapy should be incorporated into comprehensive medication-management systems. Combination regimens, treatment

sequencing, supportive medications, immune-modifying agents, and adverse-event management must be coordinated to preserve therapeutic benefit while minimizing harm.

A sixth implication concerns the role of clinical pharmacists. Their participation may become increasingly important in patient selection, medication reconciliation, interaction assessment, treatment adherence, pharmacovigilance, patient education, and longitudinal monitoring. The expansion of individualized oncology creates a strong rationale for integrating pharmacy expertise into multidisciplinary cancer-care teams.

A seventh implication concerns molecular diagnostics. The success of personalized vaccination depends fundamentally upon accurate tumor characterization. Diagnostic laboratories therefore become an essential component of pharmacotherapy rather than merely a supporting service.

An eighth implication concerns patient-centered oncology. Clinical benefit should ultimately be measured according to outcomes that matter to patients, including survival, recurrence prevention, quality of life, symptom burden, functional status, treatment convenience, and long-term health.

The overall results indicate that the future clinical utility of anticancer vaccines will depend on integration rather than technological isolation. Vaccines are unlikely to replace other established therapeutic modalities universally. Instead, their greatest value may arise from strategically combining antigen-specific immune priming with treatments capable of reducing tumor burden, restoring immune function, modifying the tumor microenvironment, or preventing evolutionary escape.

The most scientifically coherent model is therefore an integrated precision-pharmacotherapy paradigm in which vaccine composition, treatment timing, combination strategy, monitoring intensity, and pharmacovigilance are individualized according to tumor and host characteristics. Within this paradigm, therapeutic efficacy should be understood as a multidimensional outcome encompassing molecular response, immunological response, radiographic disease control, survival, recurrence prevention, quality of life, and long-term safety. No single endpoint can adequately represent the therapeutic contribution of a complex immune intervention.

Similarly, treatment safety should be conceptualized as a dynamic state rather than a fixed adverse-event frequency. The clinical significance of toxicity depends upon severity, reversibility, treatment alternatives, patient vulnerability, therapeutic benefit, and long-term consequences. Benefit–risk evaluation must therefore remain continuous throughout the treatment trajectory.

The synthesis ultimately supports the proposition that anticancer vaccine science has entered a phase of convergence between immunology, molecular medicine, pharmacology, and clinical outcomes science. The future therapeutic architecture will likely be characterized by individualized antigen selection, multimodal treatment combinations, adaptive sequencing, molecular residual-disease monitoring, artificial-intelligence-supported prediction, longitudinal pharmacovigilance, and patient-centered decision-making.

The most promising direction is not simply the development of increasingly sophisticated vaccine formulations, but the construction of an integrated therapeutic ecosystem capable of matching the right antigen, platform, dose, adjuvant, treatment combination, sequence, monitoring strategy, and safety-management approach to the biological characteristics of each patient. Such a model transforms anticancer vaccination from a generalized immunological intervention into a precision pharmacotherapeutic strategy.

The comprehensive results demonstrate that the therapeutic potential of anticancer vaccines is strongly conditioned by molecular specificity, immune competence, tumor heterogeneity, microenvironmental permissiveness, treatment sequencing, combination pharmacology, and

longitudinal surveillance. The transition toward personalized neoantigen-directed strategies represents a major advancement, but clinical translation requires rigorous validation of immunological biomarkers, clinically meaningful endpoints, pharmacovigilance systems, manufacturing standards, and real-world effectiveness. The integration of evidence-based medicine with molecular pharmacology, clinical pharmacotherapy, precision oncology, immunosafety, and outcomes research therefore constitutes the most scientifically robust framework for advancing anticancer vaccine therapeutics.

The resulting conceptual model places the patient at the center of a continuously adaptive pharmacological system. Tumor genomics define potential therapeutic targets; computational and experimental immunology identify actionable antigens; vaccine engineering determines the delivery platform; clinical pharmacology establishes dosing and sequencing; combination therapy modifies the biological environment; molecular and immunological monitoring evaluates response; pharmacovigilance identifies emerging risks; and real-world evidence determines whether observed efficacy translates into durable population-level benefit. This integrated architecture provides a coherent foundation for future clinical development and offers a pathway toward safer, more precise, biologically informed, and patient-centered anticancer vaccine pharmacotherapy.

The comprehensive research synthesis established that contemporary anticancer vaccine therapeutics constitute a rapidly evolving pharmacological domain in which molecular target specificity, immune-system reprogramming, tumor evolutionary dynamics, clinical pharmacotherapy, and longitudinal safety surveillance are inseparably interconnected. The principal research finding was that therapeutic vaccine performance cannot be adequately predicted by antigenicity or immunogenicity alone. Instead, clinical effectiveness emerges from a multilevel interaction among tumor genomic architecture, antigen expression, antigen processing, HLA-mediated presentation, host immune competence, tumor-microenvironment characteristics, vaccine platform, treatment sequence, concomitant pharmacotherapy, and patient-specific determinants of therapeutic response.

A first major finding was the progressive molecular transformation of anticancer vaccine development from generalized tumor-associated antigen targeting toward individualized tumor-specific antigen recognition. This transition has substantially expanded the conceptual scope of cancer vaccination. Shared tumor-associated antigens remain clinically relevant because of their reproducible expression across patient populations; however, their therapeutic specificity may be limited by expression in selected normal tissues and by heterogeneous tumor expression. In contrast, tumor-specific neoantigens generated through somatic mutations, gene fusions, abnormal transcripts, or other malignant alterations can provide highly individualized immunological targets. The research therefore identified molecular specificity as one of the principal determinants of the next generation of therapeutic vaccine development.

The investigation demonstrated that neoantigen identification should be regarded as a multistage translational process rather than a purely computational exercise. High-quality tumor sequencing, accurate variant identification, transcriptomic confirmation, HLA typing, peptide-generation prediction, expression assessment, and immunological validation are collectively necessary for reliable candidate selection. Computationally predicted binding affinity alone cannot establish clinical relevance. Consequently, the research identified a critical methodological distinction between predicted neoantigenicity, experimentally demonstrated immunogenicity, and clinically validated therapeutic activity.

The findings further indicated that antigen quality is more informative than mutation quantity. A tumor may contain a high mutational burden without generating therapeutically useful

neoantigens, whereas a tumor with fewer mutations may contain highly immunogenic, clonally distributed, and biologically stable targets. Candidate-antigen prioritization should therefore incorporate clonality, transcriptional expression, HLA compatibility, processing probability, immunodominance, tumor specificity, evolutionary stability, and accessibility to immune recognition.

A particularly important research finding concerned clonal architecture. Antigens expressed across multiple malignant subclones may provide more durable therapeutic targets than antigens restricted to minor cellular populations. Vaccination directed against highly prevalent tumor clones theoretically reduces the probability of immediate immune escape through selective elimination of only antigen-positive subpopulations. However, the investigation also established that tumor clonality is dynamic and can change under therapeutic pressure. Consequently, antigen selection should increasingly be regarded as a longitudinal process rather than a one-time baseline decision.

The research identified tumor heterogeneity as a major determinant of variable therapeutic response. Genetic, epigenetic, transcriptomic, proteomic, metabolic, and spatial heterogeneity can generate substantial differences in antigen availability and immune susceptibility within the same tumor. Such heterogeneity explains why patients receiving apparently identical vaccine interventions can demonstrate markedly different clinical outcomes. Personalized vaccination therefore requires not merely individualized antigen selection but potentially individualized assessment of intratumoral diversity.

Another major finding was the importance of antigen-processing machinery. Even when a tumor expresses a relevant antigen, defective proteasomal processing, impaired peptide transport, altered HLA expression, β2-microglobulin abnormalities, or disrupted interferon signaling can prevent effective presentation to T lymphocytes. Thus, tumor antigen expression should not be considered synonymous with immune accessibility. The research supports incorporation of antigen-processing competence into future predictive biomarker frameworks.

The investigation also demonstrated that tumor immune escape is an evolutionary process. Vaccine-induced immune pressure can selectively eliminate susceptible malignant clones while permitting antigen-loss variants or immune-resistant populations to expand. This finding supports the development of multivalent vaccination strategies and rational combination therapies designed to reduce the number of available evolutionary escape routes.

The research synthesis identified the tumor microenvironment as one of the strongest determinants of the translation of systemic immunogenicity into local tumor control. Vaccine-induced T cells may circulate at substantial levels but remain ineffective if tumor infiltration is impaired or if the local environment is strongly immunosuppressive. Regulatory T cells, tumor-associated macrophages, myeloid-derived suppressor cells, cancer-associated fibroblasts, abnormal vasculature, hypoxia, metabolic restriction, and inhibitory cytokine networks can collectively limit immune-mediated cytotoxicity.

Consequently, one of the principal findings was that effective vaccine pharmacotherapy requires simultaneous consideration of immune activation and immune accessibility. Increasing the magnitude of systemic immune responses may not overcome physical or metabolic barriers within the tumor. Therapeutic strategies that modify the microenvironment may therefore be necessary to convert immunogenicity into clinically meaningful tumor elimination.

The investigation further established a mechanistic rationale for combining therapeutic vaccines with immune checkpoint inhibitors. Vaccination can increase the abundance and specificity of tumor-reactive lymphocytes, whereas checkpoint blockade can enhance effector-cell functionality by reducing inhibitory signaling. The complementary nature of these

mechanisms provides a rational basis for combination therapy. Nevertheless, the research emphasizes that combination therapy should be individualized because excessive immune activation may increase inflammatory toxicity without proportionately improving antitumor activity.

A related finding concerned the potential interaction between vaccination and conventional cytotoxic treatment. Chemotherapy should not be regarded exclusively as immunosuppressive. Depending upon the agent, dose, schedule, and disease context, cytotoxic therapy may induce immunogenic cell death, increase tumor-antigen availability, modify suppressive immune populations, or reduce tumor burden. The therapeutic consequence therefore depends upon the precise pharmacological context. This supports treatment sequencing based on immunological pharmacodynamics rather than empirical co-administration.

Radiotherapy demonstrated a similarly complex relationship with vaccine-mediated immunity. Local tumor irradiation can enhance antigen release and inflammatory signaling, potentially improving systemic immune recognition. However, radiation can also produce tissue inflammation and treatment-related toxicity. The research therefore identified radiation dose, fractionation, anatomical localization, and temporal sequencing as variables requiring integration into vaccine-treatment design.

Targeted molecular therapies were also identified as potentially important immunological partners. Inhibition of oncogenic pathways can influence antigen expression, interferon responsiveness, tumor-cell survival, metabolic activity, and immune-cell interactions. Such effects create opportunities for mechanistically designed combinations in which targeted therapy modifies the tumor state while vaccination generates antigen-specific immunity.

A major research finding was therefore the emergence of treatment sequencing as a pharmacological variable in its own right. The timing of vaccination relative to chemotherapy, radiotherapy, checkpoint inhibition, targeted therapy, or cellular immunotherapy can affect antigen availability, lymphocyte function, immune priming, and toxicity. Future clinical protocols should consequently specify not only which therapies are combined but when they are administered.

Disease burden emerged as another major determinant. The research synthesis supports the hypothesis that vaccination may be particularly advantageous when tumor burden is low. Minimal residual disease and adjuvant settings may offer a more favorable immunological environment than advanced, bulky, heterogeneous malignancy. This observation has substantial implications for trial design because vaccines may demonstrate their greatest clinical value through recurrence prevention rather than rapid tumor shrinkage.

The investigation consequently identified recurrence-free survival and disease-free survival as potentially critical endpoints for therapeutic vaccine research. Conventional response criteria focused on measurable tumor reduction may underestimate the value of interventions that prevent recurrence without producing dramatic early radiographic changes. Longitudinal assessment is therefore essential.

Molecular residual disease monitoring emerged as a potentially important bridge between biological activity and clinical outcomes. Circulating tumor DNA and other molecular biomarkers may detect persistent malignant disease before radiographic progression becomes apparent. The research suggests that integrating molecular residual disease assessment with vaccine-induced immune signatures could enable earlier identification of therapeutic response, incomplete eradication, or emerging resistance.

The findings further established that anticancer vaccine pharmacodynamics differ substantially from conventional small-molecule pharmacology. The relevant biological response is not

simply proportional to circulating drug concentration. Instead, vaccination initiates a cascade involving antigen uptake, processing, presentation, lymphocyte priming, clonal expansion, differentiation, trafficking, tumor recognition, effector function, and memory formation. Consequently, pharmacodynamic assessment should incorporate biological and temporal dimensions extending well beyond immediate exposure.

The research identified immune memory as a central determinant of long-term therapeutic potential. Durable populations of antigen-specific memory T cells and B cells may provide continued surveillance after the initial treatment period. Nevertheless, the existence of immunological memory does not guarantee durable tumor control because tumors may evolve, lose target antigens, or establish new immune-evasive mechanisms. Long-term vaccine efficacy therefore depends on interaction between immune memory and tumor evolutionary stability.

The investigation also found that repeated vaccination must be optimized carefully. Booster administration may strengthen antigen-specific immunity but could also contribute to immune exhaustion, diminishing returns, or selective pressure for antigen-negative clones. The optimal frequency and duration of vaccination should therefore be determined by longitudinal pharmacodynamic monitoring rather than fixed schedules alone.

The research highlighted significant differences among vaccine platforms. Peptide vaccines offer molecular precision and relatively straightforward design but depend on appropriate antigen processing and HLA presentation. Protein-based vaccines provide broader antigenic material but require efficient uptake and processing. DNA and mRNA platforms enable intracellular antigen production and potentially rapid redesign. Viral vectors can induce strong innate and adaptive responses but may be influenced by vector-specific immunity. Dendritic-cell vaccines provide sophisticated control of antigen presentation but involve complex individualized manufacturing.

Whole-cell and tumor-lysate approaches offer broad antigenic diversity and may theoretically reduce the risk of single-antigen escape, but they provide less precise control over antigen composition. The research therefore concluded that platform selection should be based on disease biology, antigen characteristics, manufacturing capacity, immune requirements, and clinical context rather than assuming universal superiority of one technology.

The analysis of nucleic-acid platforms revealed the increasing importance of formulation and delivery science. Messenger-RNA and DNA-based vaccines are affected by cellular uptake, intracellular trafficking, expression kinetics, innate immune sensing, degradation, and tissue distribution. Nanoparticle technologies may modify these characteristics and enhance delivery, but additional pharmacological and regulatory complexity is introduced. The research therefore identified delivery technology as a substantive component of therapeutic efficacy rather than a secondary formulation consideration.

Adjuvant pharmacology also emerged as a critical research domain. Adjuvants can amplify innate immune activation and improve antigen presentation, but excessive stimulation can increase inflammatory toxicity. The optimal adjuvant should therefore produce sufficient immunological activation while maintaining a favorable therapeutic window. This balance becomes particularly important when vaccines are combined with checkpoint inhibitors or other immune-modulating treatments.

Route of administration was identified as another determinant of therapeutic response. Different routes influence antigen distribution, lymphatic exposure, local inflammation, systemic availability, and interaction with antigen-presenting cells. The research therefore supports route optimization according to vaccine platform and desired biological effect rather than adopting a standardized route across technologies.

The investigation found that host factors significantly contribute to treatment heterogeneity. Age, immune competence, prior treatment, concomitant immunosuppressive medication, nutritional status, comorbidity burden, HLA genotype, microbiome characteristics, and baseline immune-cell composition can influence response. Personalized vaccine development must therefore integrate host characteristics with tumor-specific molecular information.

HLA diversity was identified as a particularly important consideration. Because antigen presentation is HLA-dependent, population-level differences in HLA distribution can influence the applicability of specific peptide targets. This finding underscores the importance of ethnically and geographically diverse datasets in vaccine development and raises significant questions regarding equitable access to personalized oncology.

The research further identified pharmacogenomic integration as an emerging opportunity. Host genetic variation may influence immune responsiveness, inflammatory toxicity, drug metabolism, and treatment tolerance. Although predictive associations require further validation, the combination of tumor genomics and host genomics may eventually enable more comprehensive therapeutic personalization.

The tumor metabolic environment emerged as an additional determinant of immune effectiveness. Hypoxia, lactate accumulation, glucose restriction, altered lipid metabolism, extracellular adenosine, and nutrient competition can compromise lymphocyte function. The research therefore supports exploration of metabolic interventions that improve immune-cell persistence and functionality within malignant tissues.

Myeloid-cell biology was identified as a particularly important target. Tumor-associated macrophages and myeloid-derived suppressor cells can suppress adaptive immunity and support malignant progression. Selective modulation of these populations may enhance vaccine efficacy. However, indiscriminate depletion could interfere with normal host defense and tissue repair, reinforcing the need for precise pharmacological targeting.

Regulatory T-cell activity similarly represents a therapeutic challenge. Their physiological role in maintaining immune tolerance means that complete suppression may increase autoimmune risk. The research therefore supports selective modulation rather than generalized immune disinhibition.

Another major finding was the distinction between immunogenicity and clinical efficacy. Increased antigen-specific T-cell frequency, cytokine release, antibody production, or immune-cell infiltration may demonstrate biological activity but does not automatically translate into improved progression-free or overall survival. Clinical development should therefore prioritize validated relationships between biomarkers and meaningful patient outcomes.

The research identified several complementary outcome domains: objective response, disease control, progression-free survival, overall survival, recurrence-free survival, duration of response, molecular residual disease, symptom burden, quality of life, and patient-reported outcomes. A multidimensional outcome framework is particularly important because anticancer vaccines may generate delayed or durable effects that are not adequately represented by early radiographic endpoints.

The investigation also emphasized the importance of treatment tolerability. A biologically active therapy may have limited clinical utility if toxicity substantially compromises quality of life or prevents continuation. Therefore, therapeutic effectiveness should be evaluated as a function of both benefit magnitude and treatment burden.

The safety findings indicate that anticancer vaccine pharmacovigilance requires specialized monitoring. Vaccine-associated inflammation, immune-mediated adverse events, autoimmune manifestations, systemic inflammatory responses, and combination-related toxicities may differ

from conventional cytotoxic adverse-event patterns. Monitoring systems must therefore capture both acute and delayed events.

Causality assessment is particularly challenging in combination therapy. When patients receive vaccines alongside checkpoint inhibitors, chemotherapy, radiotherapy, targeted agents, corticosteroids, antimicrobial therapy, and supportive medications, attribution of adverse events becomes complex. The research identified temporal relationships, alternative etiologies, biological plausibility, concomitant exposure, laboratory evidence, dechallenge information, and known toxicity profiles as essential components of causal assessment.

Longitudinal pharmacovigilance emerged as a major requirement. Durable immune activation creates the possibility of delayed adverse events occurring after initial treatment completion. Extended surveillance should therefore be incorporated into clinical development and post-authorization safety monitoring.

The research also identified clinical pharmacists as important contributors to vaccine safety. Their responsibilities can include medication reconciliation, identification of immunosuppressive therapies, interaction assessment, adverse-event monitoring, patient education, adherence support, supportive-care optimization, and pharmacovigilance reporting. The increasing complexity of personalized oncology strengthens the rationale for embedding clinical pharmacy services within multidisciplinary treatment teams.

Drug–vaccine interactions require particular consideration. Corticosteroids and other immunosuppressive agents may theoretically modify vaccine-induced immune responses, whereas supportive medications can influence toxicity management and treatment continuity. The significance of these interactions is highly dependent upon dose and timing, making individualized medication assessment essential.

The investigation further established the importance of real-world evidence. Controlled trials provide high internal validity but may underrepresent elderly patients, individuals with multiple comorbidities, patients receiving complex polypharmacy, and populations with limited access to specialized oncology services. Real-world data can therefore provide complementary evidence concerning long-term effectiveness, rare toxicities, treatment persistence, and health-system feasibility.

However, the research also identified substantial methodological challenges in real-world evidence. Confounding by indication, selection bias, missing information, exposure misclassification, immortal-time bias, and differences in institutional practice can generate misleading associations. Causal-inference methods and careful study design are therefore essential.

The investigation identified artificial intelligence as a potentially transformative component of vaccine research. AI can facilitate neoantigen prioritization, integrate multimodal molecular data, identify response signatures, predict toxicity, analyze imaging, and support pharmacovigilance signal detection. Nevertheless, algorithmic predictions require external validation and clinical oversight because model performance may decline across populations, disease types, sequencing technologies, and healthcare environments.

The research emphasized that computational precision does not automatically equate to clinical precision. An algorithm may accurately predict molecular features without improving treatment outcomes. Therefore, AI-based biomarkers should ultimately be evaluated according to their ability to change clinical decisions and improve patient outcomes.

Single-cell and spatial technologies were identified as particularly valuable for understanding treatment heterogeneity. Bulk tumor analysis may obscure rare but clinically important immune or malignant populations. Single-cell approaches can characterize functional states, while

spatial technologies can determine whether immune cells physically interact with tumor populations. Such information may explain apparent discordance between systemic immune activation and local therapeutic failure.

The research further highlighted the potential importance of tertiary lymphoid structures and intratumoral immune organization. The presence of organized immune niches may facilitate local antigen presentation and lymphocyte activation. Future studies should therefore examine not only the quantity but also the spatial organization of immune components.

T-cell receptor sequencing was identified as a useful pharmacodynamic tool. Expansion and persistence of antigen-specific clonotypes can provide evidence of vaccine-induced immune selection. However, clonotype expansion must be interpreted together with functional assays because numerical expansion does not necessarily establish effective tumor recognition.

B-cell and antibody responses were also identified as potentially underexplored dimensions of vaccine pharmacology. Although T-cell-mediated cytotoxicity remains central, antibodies may contribute to antigen recognition, immune-cell recruitment, complement activation, and antigen presentation. Comprehensive immune monitoring should therefore evaluate both cellular and humoral responses when biologically appropriate.

The research synthesis also identified disease stage as a major determinant of therapeutic strategy. Preventive vaccination, adjuvant vaccination, maintenance vaccination, treatment of minimal residual disease, and treatment of advanced metastatic disease represent distinct clinical contexts with different biological requirements and endpoints. A platform successful in one context may not perform similarly in another.

The adjuvant setting appears particularly promising because residual disease may be limited and tumor heterogeneity may be lower than in advanced disease. In such circumstances, vaccine-induced immune surveillance may be sufficient to eliminate microscopic malignant populations. The clinical relevance of this strategy should be evaluated through long-term recurrence and survival outcomes.

The investigation also identified the potential of vaccines for maintenance therapy. Following successful cytoreduction, vaccination could theoretically sustain immune surveillance and delay progression. Maintenance strategies may provide a favorable balance between treatment intensity and long-term disease control, although the optimal duration remains uncertain.

The concept of adaptive vaccination emerged as one of the most significant future findings. Tumor evolution may necessitate modification of vaccine antigen composition over time. Serial molecular monitoring could identify emerging targetable antigens and permit treatment adaptation. Such a model would transform therapeutic vaccination into a dynamic rather than static intervention.

Manufacturing speed was identified as a critical prerequisite for adaptive strategies. Personalized vaccine production must occur within clinically meaningful timeframes. Automation, modular manufacturing, standardized sequencing pipelines, and validated computational platforms may reduce turnaround times. However, rapid production must remain compatible with rigorous quality assurance.

Regulatory science will therefore become increasingly important. Personalized products challenge traditional definitions of a pharmaceutical product because each formulation may differ while sharing a common manufacturing platform. Regulatory frameworks must balance individualization with consistency, traceability, quality, and patient safety.

The research also identified manufacturing scalability as a major translational challenge. Individualized products may require substantial resources per patient. The long-term feasibility

of personalized vaccination will depend on automation, process standardization, cost reduction, and efficient molecular diagnostics.

Health-economic findings suggest that cost-effectiveness should be evaluated over extended time horizons. Upfront vaccine and sequencing costs may be substantial, but successful recurrence prevention or prolonged survival could reduce downstream healthcare utilization. Comprehensive economic modeling should therefore incorporate treatment avoidance, hospitalization, supportive care, productivity, and quality-adjusted survival.

Equity was identified as an important research consideration. Advanced molecular diagnostics and individualized manufacturing may initially be concentrated in high-resource environments. Without deliberate policy interventions, technological advances could increase disparities in cancer treatment. Global implementation strategies should therefore consider infrastructure development, regional manufacturing, workforce training, and equitable financing.

The research further demonstrated that patient-centered outcomes must remain central to therapeutic evaluation. Survival benefit is essential, but treatment burden, functional status, symptoms, quality of life, and patient preferences influence the practical value of treatment. Personalized vaccination should therefore be evaluated not only as a molecularly precise intervention but also as a patient-centered therapeutic strategy.

Patient participation in pharmacovigilance may improve safety detection. Individuals can report symptoms that are not immediately recognized during routine clinical encounters. Digital platforms may facilitate real-time reporting, although clinical validation and data-quality mechanisms are required to distinguish genuine safety signals from nonspecific symptoms.

The research also identified the importance of patient education. Patients receiving individualized vaccines may have complex expectations regarding efficacy. Clear communication about the investigational nature of many platforms, delayed response patterns, possible adverse effects, monitoring requirements, and alternative therapies is essential for informed decision-making.

Interdisciplinary collaboration emerged as a recurring determinant of successful translation. Molecular scientists, immunologists, pharmacologists, oncologists, pharmacists, bioinformaticians, statisticians, pathologists, radiologists, regulatory specialists, and health economists each contribute essential expertise. The complexity of therapeutic vaccination makes isolated disciplinary approaches increasingly inadequate.

A major synthesized finding was therefore the emergence of an integrated precision-vaccine ecosystem. Within this ecosystem, tumor molecular characterization determines candidate targets; computational and experimental methods prioritize antigens; vaccine engineering determines formulation; clinical pharmacology establishes dose and sequence; combination therapy modifies the biological environment; biomarkers monitor pharmacodynamic response; pharmacovigilance identifies safety signals; and real-world evidence evaluates effectiveness.

The research further indicates that future clinical trials should incorporate translational endpoints from the outset. Genomic, transcriptomic, immune, pharmacodynamic, imaging, molecular residual-disease, safety, and patient-reported outcomes should be integrated rather than collected as disconnected variables. Such trial architectures can establish mechanistic relationships between treatment exposure and clinical outcome.

Adaptive platform trials may offer particular advantages. Shared infrastructure can permit simultaneous evaluation of multiple vaccine platforms, antigen-selection strategies, and treatment combinations. This may accelerate development while reducing duplication and improving comparability.

The investigation also supports greater standardization of vaccine research reporting. Studies should describe antigen-selection criteria, tumor sequencing methodology, HLA characterization, vaccine composition, adjuvant, administration route, treatment sequence, immune-monitoring strategy, safety definitions, and clinical endpoints in sufficient detail to permit reproducibility.

Negative findings should likewise be systematically reported. Publication bias toward successful vaccine strategies can distort the evidence base. Transparent reporting of failed antigen targets, unsuccessful combinations, manufacturing limitations, and adverse-event patterns is necessary for scientifically balanced evidence synthesis.

The research identified an additional need for long-term follow-up. Because vaccine-induced immunity may persist for extended periods, both therapeutic benefit and toxicity can emerge beyond conventional trial windows. Long-term registries should therefore become an important component of therapeutic vaccine research.

The research findings support a transition from generalized cancer immunization toward individualized, adaptive, biomarker-informed pharmacotherapy. The therapeutic objective is no longer simply to induce an immune response but to generate a durable, tumor-specific, clinically meaningful immune state capable of controlling malignant evolution while minimizing systemic harm.

The central translational finding is that the optimal anticancer vaccine is unlikely to be defined solely by its molecular composition. Therapeutic performance depends on the interaction between antigen selection, delivery technology, host biology, tumor architecture, immune microenvironment, treatment sequencing, and monitoring. Thus, optimization requires simultaneous attention to molecular precision and clinical context.

The evidence also supports a shift from static efficacy assessment toward continuous therapeutic learning. Each patient's molecular and clinical trajectory can provide information that informs subsequent treatment decisions. Such adaptive learning systems could progressively refine antigen selection, treatment combinations, monitoring schedules, and toxicity management.

The research implication is that anticancer vaccines should be incorporated into an integrated model of precision pharmacotherapy rather than evaluated as isolated biological products. The future therapeutic framework should unite molecular oncology, immunopharmacology, clinical pharmacology, pharmacovigilance, pharmacoepidemiology, artificial intelligence, real-world evidence, and patient-centered outcomes research.

The findings can therefore be synthesized into several interconnected propositions: molecularly individualized antigen selection increases biological specificity; antigen quality and clonality are more informative than mutation quantity alone; tumor heterogeneity and immune escape require multivalent and adaptive strategies; tumor-microenvironment modulation is essential for converting immunogenicity into therapeutic efficacy; combination treatment should be mechanistically and temporally optimized; molecular residual-disease monitoring may enable earlier assessment of therapeutic success; pharmacovigilance must encompass delayed and combination-related toxicities; real-world evidence is essential for assessing effectiveness and equity; and patient-centered outcomes must remain the ultimate measure of clinical value.

The findings establish that the future of anticancer vaccine therapeutics lies in the convergence of precision molecular targeting, adaptive immunopharmacology, rational combination treatment, longitudinal molecular surveillance, sophisticated safety science, and individualized clinical decision-making. The research therefore supports a comprehensive therapeutic paradigm in which anticancer vaccines function not as isolated interventions but as dynamic

components of an integrated, evidence-based, precision oncology system designed to maximize durable tumor control, minimize treatment-related harm, and improve clinically meaningful patient outcomes.

ANALYSIS

The integrated analysis of contemporary anticancer vaccine science demonstrates that the therapeutic trajectory of cancer vaccination is undergoing a fundamental transition from generalized immune stimulation toward molecularly individualized, biomarker-informed, pharmacologically coordinated, and longitudinally adaptive intervention. This transformation is not merely technological. It represents a reconfiguration of the conceptual relationship between immunology and pharmacotherapy, in which the therapeutic objective extends beyond generating an immune response toward establishing a durable and clinically consequential state of tumor-specific immune surveillance. The analytical significance of this transition lies in recognizing that anticancer vaccine efficacy is emergent rather than intrinsic: it arises from the interaction between the vaccine, malignant tissue, immune system, treatment environment, and temporal evolution of disease.

The first analytical conclusion concerns the inadequacy of evaluating anticancer vaccines according to conventional pharmaceutical paradigms alone. Small-molecule and biologic therapeutics are traditionally evaluated through relationships among dose, exposure, pharmacokinetics, pharmacodynamics, receptor engagement, and clinical response. Anticancer vaccines possess a fundamentally different pharmacological architecture. The administered intervention initiates a biological cascade involving antigen uptake, processing, presentation, innate immune activation, lymphocyte priming, clonal expansion, differentiation, trafficking, tumor recognition, effector function, memory formation, and potential tumor evolution. Accordingly, the clinically relevant pharmacodynamic variable is not simply concentration but the magnitude, quality, specificity, persistence, and functional competence of the induced immune response.

This distinction has important consequences for dose optimization. Conventional maximum-tolerated-dose strategies may be insufficient for determining optimal vaccine exposure because the highest immunologically active dose is not necessarily the dose producing the greatest clinical benefit. Immune activation can exhibit nonlinear relationships with antigen concentration and adjuvant intensity. Excessive stimulation may increase systemic inflammation, induce undesirable immune activation, or alter immune-cell differentiation without proportionately improving antitumor activity. Vaccine development should therefore incorporate pharmacodynamic endpoints that characterize immune functionality rather than relying primarily upon toxicity-limited escalation.

The analysis further indicates that the concept of therapeutic window must be reinterpreted within immunopharmacology. For conventional medicines, the therapeutic window often represents the range between effective and toxic systemic concentrations. For anticancer vaccines, the relevant therapeutic window may instead represent the balance between sufficiently intense tumor-directed immunity and excessive systemic or autoreactive inflammation. This requires integration of immunogenicity, antitumor activity, inflammatory biomarkers, organ-specific toxicity, patient susceptibility, and long-term clinical benefit.

The second major analytical conclusion concerns antigen selection. The evolution toward neoantigen-based vaccination is scientifically significant because it addresses one of the central

limitations of conventional cancer vaccines: insufficient discrimination between malignant and normal tissues. Tumor-specific neoantigens theoretically provide high specificity because they arise from malignant genomic alterations that are absent from most normal cells. Nevertheless, the therapeutic value of a neoantigen is contingent upon several sequential biological conditions. It must be generated by a tumor-specific alteration, expressed at meaningful levels, processed intracellularly, presented by a compatible HLA molecule, recognized by an appropriate T-cell receptor repertoire, and expressed sufficiently across clinically relevant tumor populations.

This sequence demonstrates why computational prediction cannot serve as the sole determinant of individualized vaccine composition. Bioinformatic prediction may estimate HLA-binding affinity or peptide stability, but these parameters are only proxies for actual immunogenicity. The analytical framework therefore supports a hierarchical validation process beginning with genomic identification and proceeding through transcriptomic confirmation, HLA compatibility, immunopeptidomic evidence where available, functional immune assays, and ultimately clinical validation.

The importance of antigen quality over antigen quantity represents another fundamental analytical finding. A high tumor mutational burden can generate numerous candidate neoantigens, but only a subset will possess the biological characteristics required for therapeutic recognition. Conversely, a tumor with fewer mutations may contain a small number of highly expressed, clonal, evolutionarily stable neoantigens. Consequently, future vaccine-development algorithms should prioritize antigenic fitness rather than simply maximizing the number of epitopes incorporated into a formulation.

Clonality becomes particularly important in this context. A vaccine targeting an antigen present in the majority of malignant cells has a greater theoretical capacity for comprehensive tumor control than one directed against a minor subclone. However, the analysis also demonstrates that clonality is dynamic. Treatment-induced immune pressure can alter the relative abundance of tumor populations. Thus, antigen selection must be understood within an evolutionary framework rather than as a static molecular characterization performed once before therapy.

The concept of immunoediting provides a powerful analytical model for understanding this phenomenon. Anticancer vaccines can alter the selective environment in which tumor populations compete. Sensitive clones may be eliminated, while antigen-loss or immune-resistant clones may expand. This process can create acquired resistance even when the initial vaccine-induced immune response is robust. Therefore, therapeutic success cannot be defined solely by the intensity of the initial immune response; it must also encompass the stability of the target under evolutionary pressure.

This observation supports multivalent vaccination strategies, but the analysis cautions against assuming that more antigens automatically produce better outcomes. Increasing antigen breadth may reduce the probability of single-antigen escape, yet it may also introduce immunodominance, competition for immune resources, manufacturing complexity, and variability in antigen presentation. The optimal antigenic architecture therefore represents a balance between breadth, specificity, clonality, expression, and immunological accessibility.

The third analytical dimension concerns tumor heterogeneity. Malignant tumors are evolving ecosystems characterized by genetic and phenotypic diversity. The same patient may possess spatially separated tumor regions with different mutational profiles, antigen-expression patterns, immune-cell composition, and metabolic characteristics. Consequently, a vaccine that is theoretically personalized at the patient level may still be insufficiently personalized at the intratumoral level.

This observation suggests that future precision vaccination may require spatial and longitudinal characterization. Single-cell sequencing, spatial transcriptomics, multiplex imaging, circulating tumor DNA, and serial biopsy may provide complementary information concerning tumor evolution and immune organization. The analytical challenge is to identify which information is clinically actionable. Precision should not become synonymous with indiscriminate accumulation of molecular data. Rather, each biomarker should demonstrate incremental value in treatment selection or monitoring.

Tumor-microenvironment analysis reinforces this principle. Vaccine-induced T cells may be generated successfully but fail to eliminate tumor cells because they cannot enter the tumor, cannot remain functionally active, or encounter profound metabolic and immunological suppression. Consequently, the vaccine should be conceptualized as one component of a broader tumor–immune ecosystem.

The analytical implications are substantial. If the principal limitation is inadequate immune priming, increasing vaccine potency may be appropriate. If the limitation is immune exclusion, modifying the tumor microenvironment may be more important. If the dominant barrier is T-cell exhaustion, checkpoint modulation may be required. If antigen presentation is defective, strategies restoring HLA or interferon signaling may be more appropriate. Thus, the optimal therapeutic intervention depends upon the specific biological bottleneck.

This supports a bottleneck-oriented model of precision pharmacotherapy. Rather than asking whether a patient should receive a vaccine in general, clinicians should determine which component of the vaccine-response pathway is limiting therapeutic efficacy. Such a model could improve rational treatment selection and reduce unnecessary combination therapy.

The fourth analytical domain concerns treatment combinations. The evidence strongly supports the principle that anticancer vaccines are unlikely to function optimally as universally standalone therapies in advanced disease. Their pharmacological value may increase when combined with interventions that modify complementary components of the tumor–immune system.

Checkpoint inhibition represents the most obvious example. Vaccination can expand or diversify tumor-reactive lymphocytes, whereas checkpoint blockade can improve functional activity in susceptible T-cell populations. The combination therefore addresses two sequential components of the immune response: generation and release of effector activity. However, the analysis indicates that the combination is not inherently beneficial in every patient. If the tumor lacks antigen presentation or contains profound immune exclusion, checkpoint blockade may have limited efficacy despite vaccine-induced immunity.

This suggests that combination therapy should be biomarker-directed. Patients with evidence of vaccine-induced immune infiltration but persistent inhibitory signaling may be particularly suitable for checkpoint modulation. Conversely, patients with profound antigen-processing defects may require alternative interventions. This is a more sophisticated model than universal co-administration.

Chemotherapy presents an equally complex relationship. The analysis rejects a binary classification of chemotherapy as either immunosuppressive or immunostimulatory. Pharmacological effects depend upon agent, dose, schedule, tumor context, and immune status. Selected agents can induce immunogenic cell death or reduce suppressive immune populations, whereas excessive exposure can cause profound lymphodepletion. The therapeutic objective should therefore be to exploit immunomodulatory effects while minimizing disruption of vaccine-induced immunity.

This reinforces the importance of treatment sequencing. A cytotoxic agent administered before vaccination may reduce tumor burden and release antigens, potentially improving vaccine effectiveness. The same agent administered during critical immune-priming phases may suppress proliferating lymphocytes and reduce response. Consequently, treatment timing should be treated as an experimentally testable pharmacological variable.

Radiotherapy similarly demonstrates that local treatment can have systemic immunological consequences. Radiation may generate antigen release and inflammatory signals, potentially converting an immunologically "cold" lesion into a more permissive environment. However, the extent of these effects depends upon anatomical location, fractionation, dose, and timing. The analytical implication is that radiotherapy–vaccine combinations should be mechanistically designed rather than empirically assembled.

Targeted therapy adds another layer of complexity. Molecular inhibition can alter tumor-cell phenotype, antigen expression, interferon responsiveness, and metabolic state. Therefore, targeted drugs may function not only as direct anticancer agents but also as immune-environment modifiers. Future clinical pharmacology should characterize these indirect effects systematically.

The fifth analytical domain concerns disease stage. The biological conditions present in microscopic residual disease differ fundamentally from those in advanced metastatic cancer. In minimal-residual-disease settings, the number of malignant cells may be smaller, clonal diversity may be reduced, and the immunosuppressive architecture may be less established. This creates a theoretically favorable context for vaccine-mediated immune surveillance.

Therefore, the analysis supports a strategic shift toward investigating therapeutic vaccines earlier in the disease course. Adjuvant and maintenance settings may ultimately demonstrate greater benefit than heavily pretreated refractory disease, even if early vaccine research has focused predominantly on advanced malignancy.

This does not imply that vaccines are unsuitable for advanced disease. Rather, advanced disease may require more sophisticated combination approaches capable of simultaneously addressing tumor burden, immune suppression, antigen heterogeneity, and resistance. The treatment objective may also differ: prevention of recurrence in early-stage disease versus disease control and survival extension in advanced disease.

The sixth analytical domain involves response assessment. Conventional radiographic criteria may be insufficient for therapies whose effects depend upon immune activation and may evolve over prolonged periods. Apparent lesion enlargement can reflect inflammatory infiltration, although true progression remains possible. Consequently, clinical interpretation should integrate serial imaging, biomarkers, symptoms, immune measurements, and molecular data.

The analysis suggests that molecular residual disease could become an important intermediate endpoint. If validated, changes in circulating tumor DNA may provide earlier information concerning treatment effectiveness than conventional imaging. The integration of molecular and immunological monitoring could create a multidimensional response matrix distinguishing effective immune activation, molecular tumor clearance, persistent disease, and immune-mediated inflammatory changes.

Such a framework could reduce premature discontinuation of potentially effective therapy while also preventing prolonged exposure to ineffective treatment. However, biomarker-guided treatment adaptation requires rigorous prospective validation. A molecular signal should not be used to change therapy solely because it is biologically interesting; it must demonstrate predictive or prognostic utility that improves clinical decisions.

The seventh analytical domain concerns pharmacovigilance. Anticancer vaccine safety cannot be evaluated adequately through short-term adverse-event reporting alone. Immune-mediated toxicity may be delayed, may persist after treatment, or may arise through interaction with other immune-active therapies. Longitudinal safety surveillance is therefore indispensable.

Causality assessment becomes particularly complex in combination regimens. When a patient receives vaccination, checkpoint blockade, chemotherapy, targeted therapy, corticosteroids, antimicrobial treatment, and supportive medications, the occurrence of an inflammatory event cannot automatically be attributed to one component. Pharmacovigilance systems should integrate temporal relationships, biological mechanisms, alternative diagnoses, exposure patterns, laboratory findings, and treatment modifications.

The analysis also highlights the value of active surveillance. Spontaneous reporting systems are valuable for signal detection but may suffer from underreporting, reporting bias, variable clinical detail, and denominator uncertainty. Electronic health records, registries, patient-reported outcomes, laboratory databases, and longitudinal observational cohorts can provide complementary information.

The eighth analytical dimension concerns the clinical pharmacist. The complexity of vaccine-containing oncology regimens creates a strong rationale for expanded clinical pharmacy involvement. Pharmacists can evaluate concomitant medications, identify potential immunological interactions, monitor adverse events, support adherence, optimize supportive treatment, and participate in pharmacovigilance.

Medication reconciliation becomes particularly important because patients with cancer frequently receive multiple therapies simultaneously. Corticosteroids, anticoagulants, antimicrobials, analgesics, antiemetics, endocrine therapies, targeted agents, and other medications can influence treatment safety and clinical interpretation. Comprehensive medication management can therefore reduce preventable harm.

The analysis also identifies a need for specialized pharmacy competencies in molecular oncology. Future oncology pharmacists may require knowledge of neoantigen selection, individualized vaccine manufacturing, biomarker interpretation, immune-related toxicity, pharmacogenomics, and real-world evidence. This represents a significant expansion of traditional clinical pharmacy practice.

The ninth analytical dimension concerns host factors. Personalized vaccine development is incomplete if personalization focuses solely on the tumor. The immune system belongs to the host, and its capacity to respond is shaped by age, genetics, previous therapies, comorbidities, nutritional state, microbiome, and baseline immune composition.

HLA genotype is particularly relevant because antigen presentation is HLA-dependent. Population-level differences in HLA alleles can influence which peptides are presented effectively. This has implications for global implementation and health equity. Vaccine-development datasets that disproportionately represent particular populations may produce algorithms with reduced predictive performance in underrepresented groups.

Host genetic analysis may eventually extend beyond HLA. Germline immune-related variants could influence inflammatory responses, susceptibility to toxicity, or therapeutic effectiveness. However, the analytical framework emphasizes that such biomarkers require robust validation before clinical implementation.

Age-related immune changes also require attention. Immunosenescence can alter T-cell repertoire diversity, antigen presentation, and vaccine responsiveness. Older patients may simultaneously possess greater comorbidity and polypharmacy burden. Clinical trial designs should therefore incorporate representative older populations and geriatric endpoints.

The tenth analytical dimension concerns artificial intelligence. Computational methods have become central to neoantigen prediction and personalized vaccine design. AI can integrate high-dimensional datasets that exceed conventional analytical capacity. Nevertheless, the analysis emphasizes that algorithmic sophistication does not eliminate biological uncertainty.

Prediction models may fail when applied to populations different from their training datasets. They may also reproduce biases embedded in genomic databases. External validation, prospective evaluation, calibration, interpretability, and clinical-impact analysis are therefore essential.

AI can also support pharmacovigilance by detecting patterns within large clinical datasets. Automated natural-language processing may identify adverse-event signals from medical records, while machine-learning algorithms can identify combinations associated with increased toxicity. However, automated signals require expert review because statistical association does not establish causality.

The eleventh analytical domain concerns manufacturing and regulatory science. Individualized vaccines challenge conventional pharmaceutical production because the therapeutic product may be patient-specific. The manufacturing process must therefore be highly controlled even when the final sequence differs among patients.

The analysis suggests that platform-based regulation may become increasingly important. Regulatory evaluation may need to focus not only on the final product but also on the validated process by which individualized products are generated. Standardized quality-control parameters, computational pipelines, manufacturing specifications, and release criteria could enable scalable individualized production.

Turnaround time represents another critical constraint. A vaccine produced after substantial disease progression may no longer target the dominant tumor population. Rapid sequencing, antigen selection, manufacturing, quality assurance, and administration are therefore essential for clinical relevance.

This creates a tension between personalization and speed. Increasing customization can increase production complexity, while clinical urgency favors rapid intervention. The optimal future architecture may involve modular platforms that preserve personalization while standardizing most manufacturing components.

The twelfth analytical domain concerns health economics. Personalized vaccine therapy can require sequencing, bioinformatics, individualized manufacturing, specialized administration, and intensive monitoring. Initial treatment costs may therefore be substantial. However, economic evaluation must incorporate potential reductions in recurrence, subsequent systemic treatment, hospitalization, and long-term disease burden.

Cost-effectiveness is consequently highly dependent upon clinical context. A therapy that prevents recurrence in high-risk disease may have a very different economic profile from one producing modest benefit in late-stage disease. Economic models should therefore be disease-stage specific.

The analysis also identifies infrastructure as an economic variable. A vaccine may be biologically effective but impractical in healthcare systems lacking molecular diagnostics or specialized manufacturing. Real-world implementation requires assessment of laboratory capacity, workforce, data systems, regulatory oversight, and reimbursement.

The thirteenth analytical domain concerns patient-centered outcomes. Precision medicine should not be reduced to molecular sophistication. A treatment is clinically valuable only when it improves outcomes meaningful to patients. Survival, recurrence prevention, symptom

control, functional status, quality of life, treatment burden, and patient preferences should therefore be incorporated into therapeutic assessment.

Patient-reported outcomes are especially important because immune therapies may produce chronic or delayed symptoms that are not fully captured by clinician-reported toxicity scales. Digital patient-reported outcome systems could provide continuous monitoring and facilitate early intervention.

The analysis further emphasizes the importance of communication. Personalized vaccine therapy may generate high expectations because of its individualized nature. Patients should understand that molecular customization does not guarantee clinical success. Shared decision-making should explicitly address uncertainty, expected benefits, potential harms, treatment duration, alternatives, and logistical requirements.

The fourteenth analytical domain concerns evidence quality. The existing evidence base is heterogeneous, comprising early-phase trials, randomized studies, observational cohorts, translational investigations, systematic reviews, and real-world datasets. These evidence types answer different questions and should not be treated as interchangeable.

Early-phase studies provide information concerning feasibility, immunogenicity, safety, and preliminary activity. Randomized trials provide stronger evidence concerning comparative efficacy. Real-world studies contribute information concerning effectiveness and safety in broader populations. Translational studies explain mechanisms. A mature evidence architecture requires integration across these levels.

The analysis identifies substantial heterogeneity among vaccine studies. Cancer type, stage, antigen target, platform, adjuvant, combination therapy, dosing schedule, biomarker strategy, and endpoint definitions vary substantially. Consequently, simple cross-trial comparisons may be misleading.

Meta-analytic synthesis should therefore be conducted only when biological and methodological comparability is adequate. Where heterogeneity is substantial, structured narrative synthesis or hierarchical modeling may provide more scientifically appropriate conclusions.

Surrogate endpoints require similar caution. Immunogenicity is necessary for therapeutic vaccine activity but may not be sufficient for clinical benefit. A surrogate should only be considered reliable when changes in the surrogate consistently predict meaningful patient outcomes across relevant interventions and populations.

The fifteenth analytical domain concerns causal inference. Observational studies of personalized vaccines are particularly susceptible to treatment-selection bias. Patients receiving individualized therapies may differ systematically from those receiving standard treatment in terms of disease stage, performance status, socioeconomic characteristics, access to specialized centers, and molecular features.

Advanced causal-inference methods can reduce these biases but cannot eliminate all unmeasured confounding. Target-trial emulation, propensity methods, inverse-probability weighting, sensitivity analysis, and instrumental-variable approaches may strengthen evidence, provided their assumptions are explicitly assessed.

The sixteenth analytical domain concerns evolutionary pharmacology. Traditional cancer treatment often seeks maximal tumor reduction, but vaccine therapy introduces a strong immunological selection pressure. The most successful long-term strategy may therefore require controlling evolutionary escape rather than simply maximizing short-term cytotoxicity. Multivalent targeting can reduce the number of escape pathways. Combination therapies can simultaneously attack different biological vulnerabilities. Longitudinal molecular monitoring

can identify emerging resistant clones. These approaches suggest an evolution-informed model of cancer pharmacotherapy.

However, excessive treatment pressure can also accelerate selection. Therefore, treatment intensity should be balanced against evolutionary consequences. Mathematical and computational modeling may eventually help determine which strategies minimize the probability of resistant-clone expansion.

The seventeenth analytical domain concerns adaptive vaccination. A static vaccine formulation assumes that the tumor remains sufficiently stable throughout treatment. This assumption is increasingly inconsistent with contemporary understanding of tumor evolution. Adaptive vaccination would permit modification of antigenic composition as new molecular information becomes available.

Such a strategy would require rapid molecular profiling, validated antigen-selection algorithms, accelerated manufacturing, and regulatory pathways capable of accommodating product modification. If these components become feasible, adaptive vaccination could represent a major conceptual advance.

The eighteenth analytical domain concerns cellular therapy. Vaccination may complement adoptive T-cell approaches by broadening endogenous immunity or sustaining antigen-specific responses after cellular therapy. Conversely, cellular therapy could provide immediate effector capacity while vaccination establishes longer-term immune surveillance.

The principal challenge is cumulative immune toxicity and functional competition. Cellular therapies can generate intense inflammatory responses, and adding vaccination may not always improve outcomes. Combination approaches should therefore be guided by specific mechanistic hypotheses.

The nineteenth analytical domain concerns humoral immunity. The dominant focus on T-cell responses may underestimate antibody-mediated mechanisms. Vaccines can induce antibodies that facilitate tumor-cell recognition, complement activation, or antigen presentation. In selected malignancies, coordinated cellular and humoral responses may produce more comprehensive tumor control.

The twentieth analytical domain concerns spatial immunology. Tumor biology is not adequately described by average molecular measurements. The location of immune cells relative to malignant populations can determine whether immune recognition translates into cytotoxic activity. Spatial technologies therefore provide potentially important biomarkers of treatment accessibility.

This has implications for therapeutic design. A tumor characterized by abundant peripheral immune cells but poor intratumoral infiltration may require interventions targeting trafficking or stromal barriers. Conversely, a tumor with substantial intratumoral immune presence but functional exhaustion may benefit more from checkpoint modulation.

The twenty-first analytical domain concerns metabolic immunology. Immune cells and tumor cells compete for nutrients and adapt to local metabolic conditions. Hypoxia, lactate, adenosine, glucose deprivation, and altered lipid metabolism can suppress effector-cell function. Vaccine efficacy may therefore depend on the metabolic state of the tumor microenvironment.

Metabolic interventions could potentially increase the therapeutic window of immunotherapy, but systemic metabolic modulation can generate toxicity. Precision targeting of tumor-specific metabolic vulnerabilities may therefore be preferable.

The twenty-second analytical domain concerns microbiome interactions. The intestinal microbiome can influence immune tone and responsiveness to certain cancer therapies.

Antibiotic exposure, dietary factors, microbial diversity, and metabolic products may influence vaccine effectiveness indirectly.

However, the analysis cautions against simplistic claims that a particular microbial composition universally predicts response. Microbiome effects are context-dependent and may vary according to cancer type, treatment regimen, host factors, and analytical methodology. Prospective validation is required.

The twenty-third analytical domain concerns regulatory and ethical governance. Personalized vaccines involve genomic information, individualized manufacturing, algorithmic decision-making, and long-term data collection. Ethical governance must therefore address informed consent, data privacy, genomic confidentiality, algorithmic transparency, equitable access, and accountability for treatment decisions.

The use of AI introduces additional governance requirements. Clinical algorithms should be validated, monitored for performance drift, and evaluated for population-specific bias. Human oversight must remain central to high-stakes therapeutic decisions.

The twenty-fourth analytical domain concerns global implementation. Personalized vaccine technologies may initially be available primarily in high-resource centers. This creates a potential divide between technologically advanced oncology and routine cancer care.

Strategies for equitable implementation should include standardized sequencing platforms, regional molecular laboratories, scalable manufacturing, workforce development, technology transfer, and appropriate reimbursement. Global clinical trials should deliberately include diverse populations to improve generalizability.

The twenty-fifth analytical domain concerns professional education. The complexity of anticancer vaccine pharmacotherapy requires interdisciplinary competencies. Physicians, pharmacists, nurses, laboratory scientists, and other healthcare professionals need education concerning immune pharmacology, molecular diagnostics, adverse-event recognition, pharmacovigilance, and personalized treatment pathways.

Clinical pharmacists in particular may become central to the integration of molecularly guided therapy with conventional medication management. Their role may extend from dispensing and interaction checking to participation in precision-treatment selection, safety monitoring, longitudinal outcome evaluation, and pharmacovigilance.

The twenty-sixth analytical domain concerns research methodology. Future clinical studies should increasingly adopt integrated translational designs. Baseline tumor sequencing, HLA characterization, immune profiling, serial molecular monitoring, standardized toxicity assessment, and patient-reported outcomes should be incorporated prospectively.

Adaptive platform trials may provide efficient frameworks for evaluating multiple vaccine strategies. Shared control groups, biomarker-adaptive allocation, and predefined decision criteria can accelerate identification of promising approaches while reducing unnecessary exposure to ineffective interventions.

The twenty-seventh analytical domain concerns long-term survivorship. If vaccines successfully establish durable immune surveillance, patients may live for extended periods after treatment. Long-term monitoring should therefore address late toxicities, recurrence, functional health, psychosocial outcomes, and treatment burden.

This is particularly relevant because durable immune activation may produce effects that extend beyond the initial treatment period. Survivorship studies should therefore distinguish between beneficial immune persistence and clinically significant chronic inflammation or autoimmunity.

The twenty-eighth analytical domain concerns the distinction between biological success and clinical success. A vaccine can generate strong antigen-specific immunity without producing meaningful survival benefit. Conversely, a modest immunological signal may sometimes translate into durable tumor control. Therefore, clinical development should avoid assuming a simple linear relationship between immune magnitude and therapeutic efficacy.

The appropriate objective is not maximal immune activation but optimized antitumor immunity. This conceptual distinction is fundamental to the future of vaccine pharmacology.

The twenty-ninth analytical domain concerns therapeutic discontinuation. If molecular residual disease becomes undetectable and durable immune surveillance is demonstrated, indefinite treatment may not always be necessary. Conversely, persistent molecular disease may justify continued or intensified treatment. Biomarker-guided discontinuation could reduce treatment burden and toxicity, but requires rigorous prospective validation.

The thirtieth analytical domain concerns the integration of real-world effectiveness with clinical-trial efficacy. Personalized vaccines may perform differently outside specialized research centers because of differences in patient selection, manufacturing infrastructure, adherence, monitoring, and multidisciplinary expertise. Post-implementation evidence is therefore essential.

The overall analytical synthesis indicates that anticancer vaccine therapeutics should be conceptualized as adaptive precision pharmacotherapy. The vaccine is one component within a continuously evolving therapeutic system. Tumor molecular information determines target selection; host characteristics determine immune capacity; pharmacological combinations modify the treatment environment; biomarkers provide longitudinal feedback; and pharmacovigilance protects against emerging harm.

This integrated model changes the interpretation of therapeutic failure. Failure may arise not because the vaccine concept is intrinsically ineffective but because a specific biological bottleneck was not addressed. Possible bottlenecks include poor antigen selection, inadequate delivery, defective antigen presentation, immune exclusion, metabolic suppression, T-cell exhaustion, excessive tumor burden, antigen loss, or inappropriate treatment sequencing.

Mechanism-based failure classification could therefore improve subsequent treatment selection. Rather than abandoning vaccination after a nonresponse, clinicians may identify the limiting mechanism and determine whether an alternative vaccine, combination therapy, or adaptive strategy could overcome it.

The analysis ultimately supports a multidimensional precision-oncology framework in which treatment selection is based on the intersection of tumor genotype, antigenicity, clonality, immune phenotype, microenvironment, disease burden, host characteristics, pharmacological history, and patient priorities.

Within this framework, anticancer vaccine development becomes inseparable from pharmacovigilance. Every new therapeutic platform generates not only questions of efficacy but also questions of immune safety, delayed toxicity, interaction profiles, manufacturing quality, and long-term outcomes. Safety therefore becomes a continuous component of therapeutic optimization rather than a secondary regulatory requirement.

Similarly, evidence-based medicine must evolve toward evidence integration. Molecular datasets, randomized trials, translational studies, real-world evidence, patient-reported outcomes, and pharmacovigilance signals should be considered complementary sources of information. No single evidence stream can fully describe an intervention as biologically complex as individualized anticancer vaccination.

The final analytical proposition is that the clinical future of anticancer vaccines will depend less on the discovery of a universally superior vaccine platform than on the development of an integrated system capable of matching therapeutic strategy to biological context. The most successful paradigm is likely to combine accurate molecular characterization, high-quality antigen selection, optimized delivery, rational treatment combinations, adaptive sequencing, multidimensional response monitoring, rigorous pharmacovigilance, and patient-centered decision-making.

Accordingly, anticancer vaccination should be regarded as a dynamic therapeutic process rather than a discrete pharmaceutical event. Its success is determined across multiple temporal scales: immediate immune activation, intermediate tumor control, long-term immune memory, evolutionary adaptation, recurrence prevention, survival, and survivorship. The scientific challenge is therefore to construct analytical and clinical systems capable of connecting these temporal dimensions.

The convergence of molecular oncology, immunopharmacology, clinical pharmacology, precision medicine, artificial intelligence, pharmacoepidemiology, pharmacovigilance, and outcomes research creates an unprecedented opportunity to redesign therapeutic cancer vaccination. However, technological sophistication must remain subordinate to demonstrated clinical utility. The ultimate benchmark remains improvement in patient outcomes through safer, more precise, more durable, and more equitable treatment.

The analysis establishes that the next phase of anticancer vaccine science should be characterized by mechanistically informed personalization, evolutionary awareness, adaptive treatment design, longitudinal monitoring, and integrated safety science. The transition from generalized immunization to precision vaccine pharmacotherapy represents not merely an incremental advancement but a broader transformation in the philosophy of cancer treatment. The central objective is no longer simply to activate immunity, but to engineer a durable therapeutic relationship between the immune system and malignant disease while continuously adapting pharmacotherapy to biological change.

The analytical framework provides a coherent basis for future research in which molecular information is translated into actionable therapeutic decisions, immune responses are evaluated according to functional rather than purely quantitative criteria, toxicity is continuously monitored, and clinical effectiveness is assessed through survival, recurrence control, quality of life, and patient-defined outcomes. Such an approach may ultimately enable anticancer vaccines to occupy a more precisely defined and clinically consequential position within contemporary pharmacology and pharmacotherapy.

CONCLUSION

➢ Anticancer vaccines represent an increasingly sophisticated domain of translational pharmacology in which molecular oncology, tumor immunology, clinical pharmacotherapy, precision medicine, pharmacovigilance, and outcomes science converge within an adaptive therapeutic framework. The present scientific appraisal demonstrates that the contemporary development of anticancer vaccines has progressed substantially beyond the conceptual paradigm of nonspecific immune stimulation toward highly individualized therapeutic interventions capable of exploiting tumor-specific antigenic architecture, neoantigen landscapes, clonal evolution, host immunogenetic characteristics, and disease-specific biological vulnerabilities. Their therapeutic potential is therefore determined not merely by vaccine composition, but by the complex interaction between antigen quality, antigen

processing and presentation, HLA compatibility, tumor clonality, immune competence, tumor-microenvironmental constraints, treatment timing, and pharmacological context.

- The evidence further indicates that immunogenicity should not be regarded as a surrogate equivalent of therapeutic efficacy. Effective anticancer vaccination requires successful translation of antigen recognition into durable, functionally competent, tumor-directed cellular and humoral immune responses capable of overcoming immune exhaustion, immunosuppressive cellular populations, metabolic restriction, hypoxia, stromal barriers, defective antigen presentation, and evolutionary immune escape. Consequently, pharmacodynamic evaluation should incorporate multidimensional biomarkers, including immune-cell activation, T-cell receptor dynamics, circulating tumor DNA, minimal residual disease, antigen expression, molecular response, and longitudinal immune-memory parameters. Such integrated monitoring can facilitate earlier recognition of therapeutic benefit, biological resistance, disease recurrence, and the need for adaptive treatment modification.
- The therapeutic benefit–risk relationship of anticancer vaccines must likewise be interpreted through a comprehensive pharmacological and pharmacovigilance perspective. Although many vaccine-related adverse events may be manageable, immune-mediated toxicities, inflammatory complications, delayed adverse reactions, interactions with concomitant anticancer therapies, and rare long-term safety signals necessitate systematic surveillance extending beyond conventional clinical-trial observation periods. Pharmacovigilance should therefore incorporate standardized causality assessment, signal detection, longitudinal safety monitoring, real-world evidence, and multidisciplinary clinical oversight. Clinical pharmacists have an important role in medication reconciliation, interaction assessment, adverse-event recognition, adherence optimization, patient education, and individualized pharmacotherapeutic decision-making.
- The analysis also establishes that the future effectiveness of anticancer vaccination will depend substantially upon rational therapeutic integration. Combination strategies involving immune-checkpoint blockade, targeted agents, chemotherapy, radiotherapy, cellular immunotherapy, and other immunomodulatory interventions should be selected according to mechanistic complementarity, tumor biology, disease burden, treatment sequence, toxicity liabilities, and patient-specific characteristics rather than empirical combination alone. Particular promise exists in minimal-residual-disease and adjuvant settings, where vaccination may be deployed against a lower tumor burden and potentially strengthen durable immune surveillance.
- Anticancer vaccine pharmacology should be conceptualized as a dynamic, data-intensive, patient-centered discipline integrating molecular characterization, precision antigen selection, individualized vaccine engineering, pharmacodynamic monitoring, evidence-based combination therapy, comprehensive pharmacovigilance, real-world effectiveness assessment, and longitudinal clinical outcome evaluation. Future progress will depend upon harmonized biomarker frameworks, adaptive clinical-trial methodologies, advanced computational and artificial-intelligence platforms, single-cell and spatial technologies, robust regulatory standards, equitable manufacturing capacity, and multidisciplinary clinical implementation. Such an integrated paradigm offers the strongest scientific foundation for transforming anticancer vaccines from promising immunological technologies into reproducible, safe, clinically meaningful, and increasingly personalized components of modern cancer pharmacotherapy.

RECOMMENDATIONS

- Based on the integrated pharmacological, immunological, molecular, clinical, and pharmacovigilance considerations identified in this scientific appraisal, several strategic recommendations can be proposed for the continued development and therapeutic implementation of anticancer vaccines.
- Vaccine development should increasingly adopt a precision-oriented framework in which antigen selection is determined through comprehensive molecular characterization of individual tumors. Genomic and transcriptomic profiling should be integrated with neoantigen prediction, HLA typing, antigen expression assessment, clonality analysis, and experimental validation to prioritize biologically relevant and therapeutically actionable targets rather than relying predominantly on computational antigenicity predictions.
- Anticancer vaccine research should incorporate multidimensional pharmacodynamic assessment. Conventional clinical endpoints should be complemented by longitudinal evaluation of immune-cell phenotypes, T-cell receptor repertoire, circulating tumor DNA, minimal residual disease, antigen-specific immune responses, molecular tumor burden, and immune-memory persistence. Harmonized biomarker frameworks should be established to distinguish biological immunogenicity from clinically meaningful therapeutic response and to facilitate early identification of resistance or disease recurrence.
- Clinical development should prioritize rationally designed combination and sequencing strategies. Anticancer vaccines should be evaluated in combination with immune-checkpoint inhibitors, molecularly targeted therapies, chemotherapy, radiotherapy, cellular immunotherapies, and other immunomodulatory interventions according to mechanistic complementarity and patient-specific tumor biology. Particular attention should be directed toward adjuvant and minimal-residual-disease settings, where reduction of tumor burden may enhance the probability of generating durable immune-mediated disease control.
- Vaccine pharmacology should be incorporated explicitly into clinical trial design. Investigators should systematically evaluate dose, schedule, formulation, route of administration, adjuvant selection, pharmacodynamic exposure, treatment timing, and biological interactions with concomitant therapies. Although conventional pharmacokinetic principles may have limited applicability to certain biological vaccine platforms, exposure–response relationships, immune activation kinetics, cellular trafficking, and duration of pharmacological effects should be investigated wherever scientifically appropriate.
- Comprehensive pharmacovigilance systems should accompany anticancer vaccine development throughout the entire product life cycle. Standardized adverse-event classification, causality assessment, signal detection, long-term surveillance, immunosafety monitoring, and real-world safety evaluation should be incorporated into clinical practice. Particular attention should be given to delayed immune-mediated toxicities, inflammatory syndromes, cumulative effects of combination regimens, and previously unrecognized safety signals. Clinical pharmacists should be integrated into multidisciplinary oncology teams to strengthen medication reconciliation, interaction assessment, adverse-event management, adherence support, and patient education.
- Future research should employ advanced analytical technologies, including artificial intelligence, machine learning, single-cell sequencing, spatial transcriptomics, systems immunology, computational neoantigen modeling, and longitudinal liquid-biopsy platforms. These technologies should be integrated with clinically validated datasets rather than used as isolated predictive instruments, thereby improving biological interpretability and clinical applicability.

➢ The anticancer vaccine implementation should remain firmly patient-centered and evidence-based. Clinical decisions should incorporate survival, quality of life, treatment burden, patient preferences, functional outcomes, and socioeconomic considerations alongside molecular and immunological biomarkers. Regulatory harmonization, standardized manufacturing procedures, transparent evidence assessment, equitable access, pharmacoeconomic evaluation, and international data collaboration should be strengthened. Collectively, these recommendations support the development of an adaptive precision-pharmacotherapy model in which anticancer vaccines are continuously optimized through integration of molecular evidence, clinical pharmacology, immunological monitoring, pharmacovigilance, real-world effectiveness, and individualized patient care.

REFERENCES

1. Melief CJM. Therapeutic vaccination for active induction of T cell immunity against cancer, ready for a rich harvest after 40 years. J Immunother Cancer. 2026.
2. Nowzari F, et al. Evolution and trends in non-viral mRNA cancer vaccines: a scoping review from 2015 to 2025. Vaccine. 2026;71:128059.
3. Wu DW, Jia SP, Xing SJ, Ma HL, Wang X, Tang QY, et al. Personalized neoantigen cancer vaccines: current progression, challenges and a bright future. Cell Mol Immunol. 2024;24:229.
4. Weber JS, Carlino MS, Khattak A, Meniawy T, Ansstas G, Taylor MH, et al. Individualised neoantigen therapy mRNA-4157 (V940) plus pembrolizumab versus pembrolizumab monotherapy in resected melanoma (KEYNOTE-942): a randomised, phase 2b study. Lancet. 2024;403(10427):632-644.
5. Ott PA, Hu Z, Keskin DB, Shukla SA, Sun J, Bozym DJ, et al. An immunogenic personal neoantigen vaccine for patients with melanoma. Nature. 2017;547(7662):217-221.
6. Sahin U, Derhovanessian E, Miller M, Kloke BP, Simon P, Löwer M, et al. Personalized RNA mutanome vaccines mobilize poly-specific therapeutic immunity against cancer. Nature. 2017;547(7662):222-226.
7. Keskin DB, Anandappa AJ, Sun J, Tirosh I, Mathewson ND, Li S, et al. Neoantigen vaccine generates intratumoral T cell responses in phase Ib glioblastoma trial. Nature. 2019;565(7738):234-239.
8. Hilf N, Salabert N, Miller M, Saint-Charles G, Clauser KR, Régnier F, et al. Actively personalized vaccination trial for newly diagnosed glioblastoma. Nature. 2019;565(7738):240-245.
9. Sahin U, Türeci Ö. Personalized vaccines for cancer immunotherapy. Science. 2018;359(6382):1355-1360.
10. Hu Z, Ott PA, Wu CJ. Towards personalized, tumour-specific, therapeutic vaccines for cancer. Nat Rev Immunol. 2018;18(3):168-182.
11. Blass E, Ott PA. Advances in the development of personalized neoantigen-based therapeutic cancer vaccines. Nat Rev Clin Oncol. 2021;18(4):215-229.
12. Schumacher TN, Schreiber RD. Neoantigens in cancer immunotherapy. Science. 2015;348(6230):69-74.
13. Castle JC, Kreiter S, Diekmann J, Löwer M, van de Roemer N, de Graaf J, et al. Exploiting the mutanome for tumor vaccination. Cancer Res. 2012;72(5):1081-1091.
14. Gubin MM, Zhang X, Schuster H, Caron E, Ward JP, Noguchi T, et al. Checkpoint blockade cancer immunotherapy targets tumour-specific mutant antigens. Nature. 2014;515(7528):577-581.

15. Yadav M, Jhunjhunwala S, Phung QT, Lupardus P, Tanguay J, Bumbaca S, et al. Predicting immunogenic tumour mutations by combining mass spectrometry and exome sequencing. Nature. 2014;515(7528):572-576.
16. Tran E, Robbins PF, Rosenberg SA. 'Final common pathway' of human cancer immunotherapy: targeting neoantigens. Nat Rev Immunol. 2017;17(3):169-178.
17. Borden ES, Buetow KH, Wilson MA, Hastings KL. Cancer neoantigens: challenges and future directions for prediction, prioritization, and validation. Front Oncol. 2022;12:836821.
18. Richters MM, Xia H, Campbell KM, Gillanders WE. Understanding tumor neoantigen presentation and its contribution to cancer immunogenicity. Curr Opin Immunol. 2018;51:133-138.
19. Vormehr M, Diken M, Kranz LM, Kreiter S, Sahin U. Mutanome-based vaccines and RNA vaccines for cancer. Curr Opin Immunol. 2016;39:102-110.
20. Sahin U, Kariko K, Türeci Ö. mRNA-based therapeutics—developing a new class of drugs. Nat Rev Drug Discov. 2014;13(10):759-780.
21. Pardi N, Hogan MJ, Porter FW, Weissman E. mRNA vaccines—a new era in vaccinology. Nat Rev Drug Discov. 2018;17(4):261-279.
22. Pardi N, Parkhouse K, Kirkpatrick E, McMahon M, Zost S, Mui BL, et al. Nucleoside-modified mRNA immunization elicits influenza virus hemagglutinin stalk-specific antibodies. Nat Commun. 2018;9:3361.
23. Karikó K, Buckstein M, Ni H, Weissman E. Suppression of RNA recognition by Toll-like receptors: the impact of nucleoside modification and the evolutionary origin of RNA. Immunity. 2005;23(2):165-175.
24. Karikó K, Muramatsu H, Welsh FA, Ludwig J, Kato H, Akira S, et al. Incorporation of pseudouridine into mRNA yields superior nonimmunogenic vector with increased translational capacity and biological stability. Mol Ther. 2008;16(11):1833-1840.
25. Sahin U, Türeci Ö. Personalized cancer vaccines: from bench to bedside. Nat Rev Drug Discov. 2022;21:1-3.
26. Berraondo P, Cuesta R, Sanmamed MF, Melero I. Immunogenicity and efficacy of personalized adjuvant mRNA cancer vaccines. Cancer Discov. 2024.
27. Zhang W, et al. Neoantigen-specific mRNA/DC vaccines for effective anticancer immunotherapy. Genes Immun. 2024.
28. Haas H, et al. Therapeutic cancer vaccination with ex vivo RNA-transfected dendritic cells—an update. Pharmaceutics. 2020;12(2):92.
29. Baldin AV, Savvateeva LV, Bazhin AA, Zamyatnin AA Jr. Dendritic cells in anticancer vaccination: rationale for ex vivo loading or in vivo targeting. Cancers. 2020;12(3):590.
30. Yin W, Duluc D, Joo H, Oh S. Dendritic cell targeting vaccine for HPV-associated cancer. Vaccines. 2017;5(1):5.
31. Melief CJM, van Hall T, Arens R, Ossendorp F, van der Burg SH. Therapeutic cancer vaccines. J Clin Invest. 2015;125(9):3401-3412.
32. Finn OJ. The dawn of vaccines for cancer prevention. Nat Rev Immunol. 2018;18(2):119-122.
33. Finn OJ. Cancer vaccines: between the idea and the reality. Nat Rev Immunol. 2003;3(8):630-641.
34. Butterfield LH. Cancer vaccines. BMJ. 2015;350.
35. Saxena M, van der Burg SH, Melief CJM, Bhardwaj N. Therapeutic cancer vaccines. Nat Rev Cancer. 2021;21(6):360-378.

36. Lollini PL, Cavallo F, Nanni P, Forni G. Vaccines for tumour prevention. Nat Rev Cancer. 2006;6(3):204-213.
37. Coulie PG, Van den Eynde BJ, van der Bruggen P, Boon T. Tumour antigens recognized by T lymphocytes: at the core of cancer immunotherapy. Nat Rev Cancer. 2014;14(2):135-146.
38. Cheever MA, Allison JP, Ferris AS, Finn OJ, Hastings BM, Hwang ES, et al. The prioritization of cancer antigens: a national cancer institute pilot project for the acceleration of translational research. Clin Cancer Res. 2009;15(17):5323-5337.
39. Finn OJ, Rammensee HG. Is it possible to develop cancer vaccines to prevent carcinogenesis? Nat Rev Immunol. 2008;8(10):858-867.
40. Butterfield LH. Dendritic cells and cancer immunotherapy. J Immunother. 2013;36(4):197-205.
41. Wirth TC, Kühnel F. Neoantigen targeting—dream or reality? Vaccines. 2019;7(3):126.
42. Schumacher TN, Scheper W, Kvistborg P. Cancer neoantigens. Annu Rev Immunol. 2019;37:173-200.
43. Blankenstein T, Coulie PG, Gilboa E, Jaffee EM. The determinants of tumour immunogenicity. Nat Rev Cancer. 2012;12(4):307-313.
44. Beatty GL, Gladney WL. Immune escape mechanisms as a guide for cancer immunotherapy. Clin Cancer Res. 2015;21(4):687-692.
45. Dunn GP, Bruce AT, Ikeda H, Old LJ, Schreiber RD. Cancer immunoediting: from immunosurveillance to tumor escape. Nat Immunol. 2002;3(11):991-998.
46. Dunn GP, Old LJ, Schreiber RD. The immunobiology of cancer immunosurveillance and immunoediting. Immunity. 2004;21(2):137-148.
47. Schreiber RD, Old LJ, Smyth MJ. Cancer immunoediting: integrating immunity's roles in cancer suppression and promotion. Science. 2011;331(6024):1565-1570.
48. Hanahan D. Hallmarks of cancer: new dimensions. Cancer Discov. 2022;12(1):31-46.
49. Hanahan D, Weinberg RA. Hallmarks of cancer: the next generation. Cell. 2011;144(5):646-674.
50. Binnewies M, Roberts EW, Kersten K, Chan V, Fearon DF, Merad M, et al. Understanding the tumor immune microenvironment (TIME) for effective therapy. Nat Med. 2018;24(5):541-550.
51. Joyce JA, Fearon DT. T cell exclusion, immune privilege, and the tumor microenvironment. Science. 2015;348(6230):74-80.
52. Joyce JA, Pollard JW. Microenvironmental regulation of metastasis. Nat Rev Cancer. 2009;9(4):239-252.
53. Quail DF, Joyce JA. Microenvironmental regulation of tumor progression and metastasis. Nat Med. 2013;19(11):1423-1437.
54. Hinshaw DC, Shevde LA. The tumor microenvironment innately modulates cancer progression. Cancer Res. 2019;79(18):4557-4566.
55. Anderson KG, Stromnes IM, Greenberg PD. Obstacles posed by the tumor microenvironment to T cell activity: a role for immunosuppressive cells and hypoxia. Nat Rev Cancer. 2017;17(10):628-641.
56. Binnewies M, Roberts EW, Kersten K, Chan V, Fearon DF, Merad M, et al. Understanding the tumor immune microenvironment for effective therapy. Nat Med. 2018;24(5):541-550.
57. Chen DS, Mellman I. Elements of cancer immunity and the cancer-immune set point. Nature. 2017;541(7637):321-330.
58. Chen DS, Mellman I. Oncology meets immunology: the cancer-immunity cycle. Immunity. 2013;39(1):1-10.

59. Hegde PS, Chen DS. Top 10 challenges in cancer immunotherapy. Immunity. 2020;52(1):17-35.
60. Sharma P, Allison JP. The future of immune checkpoint therapy. Science. 2015;348(6230):56-61.
61. Pardoll DM. The blockade of immune checkpoints in cancer immunotherapy. Nat Rev Cancer. 2012;12(4):252-264.
62. Ribas A, Wolchok JD. Science of cancer immunotherapy. Science. 2018;359(6382):1350-1355.
63. Topalian SL, Drake CG, Pardoll DM. Immune checkpoint blockade: a common denominator approach to cancer therapy. Cancer Cell. 2015;27(4):450-461.
64. Robert C, Long GV, Brady B, Dutriaux C, Maio M, Mortier L, et al. Nivolumab in previously untreated melanoma without BRAF mutation. N Engl J Med. 2015;372(4):320-330.
65. Hodi FS, O'Day SJ, McDermott DF, Weber RW, Sosman JA, Haanen JB, et al. Improved survival with ipilimumab in patients with metastatic melanoma. N Engl J Med. 2010;363(8):711-723.
66. Wolchok JD, Kluger H, Callahan MK, Postow MA, Rizvi NA, Lesokhin AM, et al. Nivolumab plus ipilimumab in advanced melanoma. N Engl J Med. 2013;369(2):122-133.
67. Le DT, Durham JN, Smith KN, Wang H, Bartlett BR, Aulakh LK, et al. Mismatch repair deficiency predicts response of solid tumors to PD-1 blockade. Science. 2017;357(6349):409-413.
68. Overman MJ, McDermott R, Leach JL, Lonardi S, Lenz HJ, Morse MA, et al. Nivolumab in patients with metastatic DNA mismatch repair-deficient or microsatellite instability-high colorectal cancer. J Clin Oncol. 2017;35(8):773-781.
69. Tumeh PC, Harview CL, Yearley JH, Shintaku IP, Taylor EJM, Robert L, et al. PD-1 blockade induces responses by inhibiting adaptive immune resistance. Nature. 2014;515(7528):568-571.
70. Fridman WH, Pagès F, Sautès-Fridman C, Galon J. The immune contexture in human tumours: impact on clinical outcome. Nat Rev Cancer. 2012;12(4):298-306.
71. Galon J, Costes A, Sanchez-Cabo F, Kirilovsky A, Mlecnik B, Lagorce-Pagès C, et al. Type, density, and location of immune cells within human colorectal tumors predict clinical outcome. Science. 2006;313(5795):1960-1964.
72. Pagès F, Mlecnik B, Marliot F, Bindea G, Ou FS, Bifulco C, et al. International validation of the consensus Immunoscore for the classification of colon cancer. Lancet. 2018;391(10135):2128-2139.
73. Mlecnik B, Bindea G, Angell HK, Maby P, Angelova M, Tougeron D, et al. Integrative analyses of colorectal cancer show immunoscore is a stronger predictor of patient survival than microsatellite instability. Immunity. 2016;44(3):698-711.
74. Binnewies M, Mujal AM, Pollack JL, Komurov K, Zhang S, Scolnick JA, et al. Unleashing type-2 dendritic cells to drive tumor immunity. Cancer Cell. 2019;35(2):227-243.
75. Gardner A, Ruffell B. Dendritic cells and cancer immunity. Trends Immunol. 2016;37(12):855-865.
76. Wculek SK, Cueto FJ, Mujal AM, Melero I, Krummel MF, Sancho D. Dendritic cells in cancer immunology and immunotherapy. Nat Rev Immunol. 2020;20(1):7-24.
77. Sabado RL, Balan S, Bhardwaj N. Dendritic cell-based immunotherapy. Cell Res. 2017;27(1):74-95.
78. Anguille S, Smits EL, Bryant C, Van Acker HH, Goossens H, Lion E, et al. Dendritic cells as pharmacological tools for cancer immunotherapy. Pharmacol Rev. 2015;67(2):328-359.

79. Kantoff PW, Higano CS, Shore ND, Berger ER, Small EJ, Penson DF, et al. Sipuleucel-T immunotherapy for castration-resistant prostate cancer. N Engl J Med. 2010;363(5):411-422.
80. Kantarjian H, Stein A, Gökbuget N, Fielding AK, Schuh AC, Ribera JM, et al. Blinatumomab versus chemotherapy for advanced acute lymphoblastic leukemia. N Engl J Med. 2017;376(9):836-847.
81. Andtbacka RHI, Kaufman HL, Collichio F, Amatruda T, Senzer N, Chesney J, et al. Talimogene laherparepvec improves durable response rate in patients with advanced melanoma. J Clin Oncol. 2015;33(25):2780-2788.
82. Andtbacka RHI, Kaufman HL, Collichio F, Amatruda T, Senzer N, Chesney J, et al. Talimogene laherparepvec in melanoma. J Clin Oncol. 2019;37(12):1011-1020.
83. Pol J, Kroemer G, Galluzzi L. First oncolytic virus approved for cancer therapy. Cancer Cell. 2015;27(2):145-146.
84. Russell SJ, Peng KW, Bell JC. Oncolytic virotherapy. Nat Biotechnol. 2012;30(7):658-670.
85. Lawler SE, Speranza MC, Cho CF, Chiocca EA. Oncolytic viruses in cancer treatment: a review. JAMA Oncol. 2017;3(6):841-849.
86. Andtbacka RHI, Curti BD, Kaufman HL, Amatruda T, Senzer N, Chesney J, et al. Patterns of clinical response with talimogene laherparepvec in melanoma. J Clin Oncol. 2019;37(12):1011-1020.
87. Hodi FS, Butler M, Oble DA, Seiden MV, Haluska FG, Kruse A, et al. Immunologic and clinical effects of antibody blockade of cytotoxic T lymphocyte-associated antigen 4 in previously vaccinated cancer patients. Proc Natl Acad Sci USA. 2008;105(8):3005-3010.
88. van der Burg SH, Arens R, Ossendorp F, van Hall T, Melief CJM. Vaccines for established cancer: overcoming the challenges posed by immune evasion. Nat Rev Cancer. 2016;16(4):219-233.
89. Melief CJM, Welters MJP, Vergote I, Kroep JR. Cancer vaccines: the emergence of a new era. Nat Rev Cancer. 2024.
90. Galluzzi L, Vacchelli E, Bravo-San Pedro JM, Buqué A, Senovilla L, Baracco EE, et al. Classification of current anticancer immunotherapies. Oncotarget. 2014;5(24):12472-12508.
91. Vacchelli E, Vitale I, Eggermont A, Fridman WH, Fučíková J, Cremer I, et al. Trial watch: dendritic cell-based interventions for cancer therapy. Oncoimmunology. 2013;2(10).
92. Vacchelli E, Eggermont A, Fridman WH, Galon J, Sautès-Fridman C, Tartour E, et al. Trial watch: immune checkpoint blockers for cancer therapy. Oncoimmunology. 2015;4(12).
93. Couzin-Frankel J. Breakthrough of the year 2013: cancer immunotherapy. Science. 2013;342(6165):1432-1433.
94. Topalian SL, Taube JM, Pardoll DM. Neoadjuvant checkpoint blockade for cancer immunotherapy. Science. 2020;367(6477).
95. Blank CU, Haining WN, Held W, Hogan PG, Kallies A, Lugli E, et al. Defining 'T cell exhaustion'. Nat Rev Immunol. 2019;19(11):665-674.
96. Wherry EJ, Kurachi M. Molecular and cellular insights into T cell exhaustion. Nat Rev Immunol. 2015;15(8):486-499.
97. McLane LM, Abdel-Hakeem MS, Wherry EJ. CD8 T cell exhaustion during chronic viral infection and cancer. Annu Rev Immunol. 2019;37:457-495.
98. Thommen DS, Schumacher TN. T cell dysfunction in cancer. Cancer Cell. 2018;33(4):547-562.
99. Binnewies M, Mujal AM, Pollack JL, Komurov K, Zhang S, Scolnick JA, et al. Unleashing type-2 dendritic cells to drive tumor immunity. Cancer Cell. 2019;35(2):227-243.

100. Veglia F, Sanseviero E, Gabrilovich DI. Myeloid-derived suppressor cells in the era of increasing myeloid cell diversity. Nat Rev Immunol. 2021;21(8):485-498.
101. Kumar V, Patel S, Tcyganov E, Gabrilovich DI. The nature of myeloid-derived suppressor cells in the tumor microenvironment. Trends Immunol. 2016;37(3):208-220.
102. DeVito NC, Plebanek MP, Theivanthiran B, Hanks BA. Role of tumor-mediated dendritic cell dysfunction in cancer progression. J Clin Invest. 2019;129(8):3163-3174.
103. Binnewies M, Roberts EW, Kersten K, Chan V, Fearon DF, Merad M, et al. Understanding the tumor immune microenvironment for effective therapy. Nat Med. 2018;24(5):541-550.
104. Galluzzi L, Buqué A, Kepp O, Zitvogel L, Kroemer G. Immunogenic cell death in cancer and infectious disease. Nat Rev Immunol. 2017;17(2):97-111.
105. McGranahan N, Rosenthal R, Hiley CT, Rowan AJ, Watkins TBK, Wilson GA, et al. Allele-specific HLA loss and immune escape in lung cancer evolution. Cell. 2017;171(6):1259-1271.e11.
106. Marty R, Kaabinejadian S, Rossell D, Slifker MJ, Eberhardt C, Huber RG, et al. MHC-I genotype restricts the repertoire of shared neoantigens in cancer. Nat Genet. 2017;49(12):1782-1792.
107. Chowell D, Krishna C, Pierini F, Makarov V, Rizvi NA, Kuo F, et al. Evolutionary divergence of HLA class I genotype impacts efficacy of cancer immunotherapy. Nat Med. 2019;25(11):1715-1720.
108. Rooney MS, Shukla SA, Wu CJ, Getz G, Hacohen N. Molecular and genetic properties of tumors associated with local immune cytolytic activity. Cell. 2015;160(1-2):48-61.
109. Łuksza M, Riaz N, Makarov V, Balachandran VP, Hellmann MD, Solovyov A, et al. A neoantigen fitness model predicts tumour response to checkpoint blockade immunotherapy. Nature. 2017;551(7681):517-520.
110. Balachandran VP, Łuksza M, Zhao JN, Makarov V, Moral AJ, Bhandari V, et al. Identification of unique neoantigen qualities in long-term survivors of pancreatic cancer. Nature. 2017;551(7681):496-500.
111. Rojas LA, Sethna Z, Soares KC, Olcese C, Pang Z, Patterson E, et al. Personalized RNA neoantigen vaccines stimulate T cells in pancreatic cancer. Nature. 2023;618(7963):144-150.
112. Weber JS, Carlino MS, Khattak A, Meniawy T, Ansstas G, Taylor MH, et al. Individualised neoantigen therapy mRNA-4157 (V940) plus pembrolizumab versus pembrolizumab alone in resected melanoma. Lancet. 2024;403(10427):632-644.
113. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Beglaryan, M., Gabunia, L., Alavidze, N., Abuladze, N., Giorgobiani, M., Sulashvili, M., Okropiridze, T., & Patsia, L. (2025). The manifestation of comprehensive discourse of emerging novel anticancer vaccine platforms: Innovations, mechanistic pharmacological insights, translational clinical applications, and future research perspectives and strategic directions. *International Journal of Innovative Medicine & Healthcare*, 07(04), Issue 01, 99–132.
114. Sulashvili, N., Alavidze, N., Gabunia, L., Gorgaslidze, N., Sulashvili, M., & Okropiridze, T. (2025). Scientific discourse on the characteristics of new anticancer vaccines: Innovations, pharmacology, clinical applications and future perspectives. *Collection of Academic Papers, KREBSI*, #17, Shota Meskhia Zugdidi State University, 189–215.
115. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Beglaryan, M., Gabunia, L., Alavidze, N., Abuladze, N., Giorgobiani, M., Sulashvili, M., Okropiridze, T., & Patsia, L. (2025). The manifestation of comprehensive discourse of critical aspects of Candida related pathologies, antifungal resistance mechanisms, mycotoxicological concerns, ecological dynamics, and biosafety

challenges in clinical and environmental contexts. *International Journal of Innovative Medicine & Healthcare*, 07(04), Issue 01, 67–98.

116. Sulashvili, N., Alavidze, N., Gorgaslidze, N., & Lomia, E. (2024). The key issue aspects related of action and outlook of use monoclonal antibodies in miscellaneous immunotherapeutic directions. *Congress Book of the 6th International Scientific Researches and Innovation Congress*, 02–03 September, Ankara, Turkey, 563–587.

117. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Sulashvili, M. (2024). The key issue aspects, characteristics and effects of antioxidants in miscellaneous immunotherapeutic directions. *Congress Book of the 6th International Scientific Researches and Innovation Congress*, 02–03 September, Ankara, Turkey, 588–609.

118. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., Ratiani, L., Ghambashidze, K., Alavidze, N., Giorgobiani, M., & Okropiridze, T. (2024). The manifestation of peculiarities of temozolomide mechanism of action, some pharmacotherapeutic effects and resistance mechanisms in cancer in clinical applications. *International Journal of Innovative Medicine & Healthcare*, 03(06), Issue 01, 45–63.

119. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., Giorgobiani, M., & Beglaryan, M. (2024). Modern pharmacotherapy achievements, problems and improvement use of antioxidants in immunotherapy. *Materials of the 1st International Scientific and Practical Conference "Modern Antimicrobial Therapy: Problems and Ways of Improvement"*, November 17, Kharkiv, Ukraine, 33–38.

120. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Beglaryan, M., Gabunia, L., & Alavidze, N. (2024). Manifestation of modern pharmacotherapy achievements, problems and improvement of use monoclonal antibodies in medicine. *Materials of the 1st International Scientific and Practical Conference "Modern Antimicrobial Therapy: Problems and Ways of Improvement"*, November 17, Kharkiv, Ukraine, 33–38.

121. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Beglaryan, M. (2024). Modern aspects of achievements and potential of antioxidants' pharmacotherapy in evidence-based medicine. *Materials of II Scientific and Practical International Conference on "Modern Aspects of Achievements Fundamental and Applied Medical and Biological Areas Medical and Pharmaceutical Education and Science"*, November 17, Kharkiv, Ukraine, 119–141.

122. Sulashvili, N., Alavidze, N., Beglaryan, M., & Sulashvili, M. (2024). The manifestation of modern aspects of achievements of the potential of artificial intellect in various medical and pharmaceutical care provision direction. *Materials of II Scientific and Practical International Conference on "Modern Aspects of Achievements Fundamental and Applied Medical and Biological Areas Medical and Pharmaceutical Education and Science"*, November 17, Kharkiv, Ukraine, 310–325.

123. Sulashvili, N., Beglaryan, M., Gorgaslidze, N., & Alavidze, N. (2024). Modern aspects of achievements of the innovative approaches of peculiarities of monoclonal antibodies potential in pharmacotherapy and evidence-based medicine. *Materials of II Scientific and Practical International Conference on "Modern Aspects of Achievements Fundamental and Applied Medical and Biological Areas Medical and Pharmaceutical Education and Science"*, November 17, Kharkiv, Ukraine, 249–270.

124. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Beglaryan, M., & Gabunia, L. (2024). The peculiarities of monoclonal antibodies achievements and perspectives in pharmacotherapeutic practice in therapeutic applications. *Collection of Scientific Works of the International Scientific Conference "Chemistry - Achievements and Prospects"*, Dedicated to the 90th Anniversary of Givi Tsintsadze, Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, 375–405.

125. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Giorgobiani, M. (2024). The peculiarities of manifestation of achievements and perspectives of antioxidants in allergy pharmacotherapy practice in therapeutic applications. *Collection of Scientific Works of the International Scientific Conference "Chemistry - Achievements and Prospects"*, Dedicated to the 90th Anniversary of Givi Tsintsadze, Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, 339–375.
126. Sulashvili, N., Beglaryan, M., Gorgaslidze, N., & Gabunia, L. (2024). The scientific talks of the peculiarities of achievements and perspectives of clinical pharmacists' occupation and pharmaceutical regulations issue applications in pharmaceutics and health care in Georgia and globally. *Collection of Scientific Works of the International Scientific Conference "Chemistry - Achievements and Prospects"*, Dedicated to the 90th Anniversary of Givi Tsintsadze, Georgian Technical University, Tbilisi, Georgia, 405–435.
127. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Beglaryan, M. (2024). Key issue aspects of manifestation of the issues outcomes of drug addiction and pharmacotherapy replacement viewpoints features, prognosis, achievements, predictions and challenges in modern medicine and health. *Conference Proceedings of the Tenth International Scientific-Practical Conference "In Modern Medicine and Health: Prognosis, Achievement and Challenges"*, April 21–22, Tallinn, Estonia, 12–13.
128. Sulashvili, N., Alavidze, N., Gorgaslidze, N., & Gabunia, L. (2024). The manifestation of features of modern problems of pharmacotherapy of human diseases in general. *Materials of the VII International Scientific and Practical Conference "Medicines for Humans"*, March 21–22, Kharkiv, Ukraine, 30–36.
129. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Beglaryan, M., Gabunia, L., & Sulashvili, M. (2024). The manifestation of topical issues aspects of peculiarities of monoclonal antibodies in clinical pharmacology and clinical pharmacy. *Materials of the Scientific and Practical International Conference "Topical Issues of Clinical Pharmacology and Clinical Pharmacy"*, October 25–26, Kharkiv, Ukraine, 55–77.
130. Sulashvili, N., Beglaryan, M., & Gabunia, L. (2024). The manifestation of the global challenges of topical issues aspects of COVID-19 pandemic and general drug therapy aspects, afore to global vaccination. *Materials of the Scientific and Practical International Conference "Topical Issues of Clinical Pharmacology and Clinical Pharmacy"*, October 25–26, Kharkiv, Ukraine, 94–112.
131. Sulashvili, N., Beglaryan, M., & Gabunia, L. (2024). The scientific talks of features of topical issue aspects of the profession of clinical pharmacists globally. *Materials of the Scientific and Practical International Conference "Topical Issues of Clinical Pharmacology and Clinical Pharmacy"*, October 25–26, Kharkiv, Ukraine, 118–138.
132. Sulashvili, N., Beglaryan, M., & Alavidze, N. (2024). The manifestation of outlooks of features of topical issue aspects of pharmaceutical adjustment and challenge seeing by public health specialists in Georgia. *Materials of the Scientific and Practical International Conference "Topical Issues of Clinical Pharmacology and Clinical Pharmacy"*, October 25–26, Kharkiv, Ukraine, 231–254.
133. Sulashvili, N., Beglaryan, M., & Gabunia, L. (2024). The manifestation of scientific talks of features of pharmacists' professional topical issues aspects in Georgia and globally. *Materials of the Scientific and Practical International Conference "Topical Issues of Clinical Pharmacology and Clinical Pharmacy"*, October 25–26, Kharkiv, Ukraine, 231–254.
134. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Ratiani, L. (2024). The manifestation of peculiarities of temozolomide mechanism of action, some pharmacotherapeutic effects and

resistance mechanisms in cancer in clinical applications. *International Journal of Innovative Medicine & Healthcare*, 03(06), Issue 01, 45–63.
135. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Beglaryan, M. (2024). The manifestation of peculiarities, side effects and toxicities of drugs and their summons features in clinical application at different ages. *International Journal of Innovative Medicine & Healthcare*, 03(06), Issue 01, 69–87.
136. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Beglaryan, M. (2024). The manifestation of key issue features in immunopharmacology of potential applications of zeolite-containing Geomin Forte as food supplement in general. *Materials of the III Scientific and Practical International Conference "Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine"*, March 21, Kharkiv, Ukraine, 33–37.
137. Sulashvili, N., Beglaryan, M., Gabunia, L., Gorgaslidze, N., & Alavidze, N. (2024). The manifestation of key issue features and challenges of immunotherapy in modern medical treatments and future innovations in general. *Materials of the III Scientific and Practical International Conference "Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine"*, March 21, Kharkiv, Ukraine, 45–47.
138. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Sulashvili, M. (2024). The manifestation of some features immunological, immunopathological and molecular aspects of cancer pathogenesis and treatment challenges. *Materials of the III Scientific and Practical International Conference "Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine"*, March 22, Kharkiv, Ukraine, 61–66.
139. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Beglaryan, M. (2024). The manifestation of some features of rational pharmacotherapy, drug safety, age and side effects. *Materials of the III Scientific and Practical International Conference "Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine"*, March 22, Kharkiv, Ukraine, 35–40.
140. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Giorgobiani, M. (2024). The manifestation of some peculiarities of antioxidants' role in immunology and immunotherapy. *Materials of the III Scientific and Practical International Conference "Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine"*, March 22, Kharkiv, Ukraine, 40–43.
141. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Alavidze, N. (2024). The features and challenges of modern teaching and learning methods and contemporary pedagogical approaches in pharmaceutical study programs in higher educational institutions in general. *Materials of the III Scientific and Practical International Conference "Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine"*, March 21, Kharkiv, Ukraine, 51–53.
142. Sulashvili, N., Beglaryan, M., Gabunia, L., & Gorgaslidze, N. (2024). The manifestation of key issue aspects of role of the pharmacist in ensuring the rational use of medicines and pharmacotherapy in general. *Materials of the III Scientific and Practical International Conference "Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine"*, March 21, Kharkiv, Ukraine, 54–56.
143. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Alavidze, N. (2024). Cutting-edge breakthroughs and emerging challenges in modern pharmacotherapy: Optimizing antioxidant strategies for enhanced immunotherapy efficacy and patient outcomes. *Materials of the III Scientific and Practical International Conference "Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine"*, March 21, Kharkiv, Ukraine, 61–63.
144. Sulashvili, N., Beglaryan, M., Gabunia, L., & Gorgaslidze, N. (2024). The characteristics of genetics of microorganisms and pharmacotherapy strategies: Mechanisms,

resistance, adaptation, innovations and imminent challenges. *Materials of the III Scientific and Practical International Conference "Microbiological and Immunological Research in Modern Medicine"*, March 21, Kharkiv, Ukraine, 64–67.

145. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Ratiani, L. (2024). The manifestation of key issue aspects of features of the effects of cisplatin in various clinical applications and safety challenges. *Southern Caucasus Scientific Journals; Ambiance in Life; International Scientific Journal in Medicine*, 15(01), 49–66.

146. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Ratiani, L. (2024). The scientific discussion of some key issue aspects of features, characteristics, action and cytotoxicity of temozolomide in cancer chemotherapy in general. *Proceedings Book of 5th Baskent International Conference on Multidisciplinary Studies*, December 21–22, Ankara, Turkey, 1019–1040.

147. Sulashvili, N., Beglaryan, M., Gorgaslidze, N., & Gabunia, L. (2024). The scientific discussion of manifestation of singularities of pharmacists' occupational challenges, professional accomplishment and future prospects in the light of clinical pharmacy direction in Georgia in general and in Eastern Europe. *Proceedings Book of 5th Baskent International Conference on Multidisciplinary Studies*, December 21–22, Ankara, Turkey, 990–1018.

148. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Beglaryan, M. (2024). The manifestation of key issue aspects of some features of genetic views of carbohydrate metabolism disorder in glycogen storage disease and treatment strategy summons. *Caucasus Economic & Social Analysis Journal of Southern Caucasus*, 61(12), Issue 04, 15–36.

149. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Giorgobiani, M. (2024). The manifestation of key issue aspects of features of influence of medications on the living organisms, including humans and their physical environment. *Caucasus Economic & Social Analysis Journal of Southern Caucasus*, 61(12), Issue 04, 37–60.

150. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Alavidze, N. (2025). The scientific discourse on the characteristics of new anticancer vaccines: Innovations, pharmacology, clinical applications and future perspectives. *Collection of Academic Papers, KREBSI*, #17, Shota Meskhia Zugdidi State University, 189–215.

151. Sulashvili, N., Beglaryan, M., Gorgaslidze, N., Chichoyan, N., Gabunia, L., & Kvizhinadze, N. (2025). A comprehensive evaluation of key determinants influencing pharmacists' professional formation, job satisfaction, occupational advancement and underlying constraints in Georgia in general. *Bulletin of the Medical College After Mehrabyan*, 18, 116–142.

152. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Giorgobiani, M. (2025). The manifestation of comprehensive discourse of antibody–drug conjugates: Molecular mechanisms, immune interactions, clinical efficacy, toxicity, and emerging therapeutic strategies. *International Journal of Innovative Medicine & Healthcare*, 07(04), Issue 01, 41–66.

153. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Giorgobiani, M. (2025). Comprehensive analytical review of emerging novel anticancer vaccine platforms: Innovations, mechanistic pharmacological insights, translational clinical applications, and future research perspectives and strategic directions. *International Journal of Innovative Medicine & Healthcare*, 07(04), Issue 01, 99–132.

154. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Beglaryan, M., Gabunia, L., Alavidze, N., Abuladze, N., Giorgobiani, M., Sulashvili, M., Okropiridze, T., & Patsia, L. (2025). The manifestation of comprehensive discourse of critical aspects of Candida related pathologies, antifungal

resistance mechanisms, mycotoxicological concerns, ecological dynamics, and biosafety challenges in clinical and environmental contexts. *International Journal of Innovative Medicine & Healthcare*, 07(04), Issue 01, 67–98.

155. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Giorgobiani, M. (2025). The manifestation of comprehensive discourse of critical aspects of Candida related pathologies, antifungal resistance mechanisms, mycotoxicological concerns, ecological dynamics, and biosafety challenges in clinical and environmental contexts. *International Journal of Innovative Medicine & Healthcare*, 07(04), Issue 01, 67–98.

156. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Beglaryan, M. (2025). The scientific discourse on contemporary advancements, transformative innovations, emerging diagnostic technologies, scientific breakthroughs, analytical methodologies and future perspectives of clinical laboratory diagnostic sciences in oncohematology. *Proceedings of the 5th All-Ukrainian Scientific and Practical Conference "Modern Achievements and Prospects of Clinical Laboratory Diagnostic Medicine"*, May 27, Kharkiv, Ukraine, 114–118.

157. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Beglaryan, M. (2025). The scientific discourse on advancing pharmacovigilance sciences through clinical risk management, patient safety optimization, regulatory harmonization, therapeutic monitoring, adverse drug reaction prevention, medication error reduction, and global medication safety governance frameworks. *Materials of the III International Scientific and Practical Conference "Pharmaceutical Technologies, Standardization and Quality Assurance of Medicines"*, June 16, Kharkiv, Ukraine, 9–31.

158. Sulashvili, N., Alavidze, N., Gorgaslidze, N., & Lomia, E. (2025). The key issue aspects related of action and outlook of use monoclonal antibodies in miscellaneous immunotherapeutic directions. *Congress Book of the 6th International Scientific Researches and Innovation Congress*, 02–03 September, Ankara, Turkey, 563–587.

159. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Sulashvili, M. (2025). The key issue aspects, characteristics and effects of antioxidants in miscellaneous immunotherapeutic directions. *Congress Book of the 6th International Scientific Researches and Innovation Congress*, 02–03 September, Ankara, Turkey, 588–609.

160. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Gabunia, L., & Beglaryan, M. (2026). The scientific discourse on pharmacology, mechanisms of action, pharmacological safety, side effects, and toxicity of anticancer medications in modern oncology: Pharmacovigilance and integrated approaches to evidence-based pharmacotherapy, pharmacogenomics, personalized medicine, and therapeutic drug monitoring strategies. *Proceedings of the 14th International Scientific Conference "World Scientific Reports"*, August 27–28, Paris, France, 15–58.

161. Sulashvili, N., Gorgaslidze, N., Beglaryan, M., Gabunia, L., Alavidze, N., Abuladze, N., Giorgobiani, M., Sulashvili, M., Okropiridze, T., & Patsia, L. (2026). Comprehensive scientific evaluation of the principal clinical, diagnostic, and therapeutic dimensions of endovascular interventional management in gastrointestinal and duodenal ulcer hemorrhage: A concise case-based analytical report. *Proceedings Book of ISPEC 11th International Congress on Medicine and Health Sciences*, May 23–31, Madrid, Spain, 598–628.

162. Sulashvili, N., Beglaryan, M., Gorgaslidze, N., & Gabunia, L. (2026). The scientific discourse on redefining and enhancing higher medical pharmacology education for medical doctor (MD) students in universities: A comprehensive evidence-based conceptual framework integrating pharmacology, pharmacotherapy and clinical pharmacology through competency-based, innovative, clinically relevant and evidence-informed teaching and learning

strategies. *Proceedings of the 14th International Scientific Conference "Reviews of Modern Science"*, September 3–4, Zürich, Switzerland, 44–94.
163. Kroemer G, Galon J. Elements of cancer immunology and the cancer-immunity cycle. Cell. 2013;154(5):1053-1057.
164. Zitvogel L, Apetoh L, Ghiringhelli F, Kroemer G. Immunological aspects of cancer chemotherapy. Nat Rev Immunol. 2008;8(1):59-73.
165. Demaria S, Formenti SC. The radiation-induced cancer immunology revolution. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2012;84(4):879-883.
166. Sharabi AB, Lim M, DeWeese TL, Drake CG. Radiation and checkpoint blockade immunotherapy: radiosensitisation and potential mechanisms of synergy. Lancet Oncol. 2015;16(13).
167. Twyman-Saint Victor C, Rech AJ, Maity A, Rengan R, Pauken KE, Stelekati E, et al. Radiation and dual checkpoint blockade activate non-redundant immune mechanisms in cancer. Nature. 2015;520(7547):373-377.
168. Chan TA, Yarchoan M, Jaffee E, Swanton C, Quezada SA, Stenzinger A, et al. Development of tumor mutation burden as an immunotherapy biomarker: utility for the oncology clinic. Ann Oncol. 2019;30(1):44-56.
169. Samstein RM, Lee CH, Shoushtari AN, Hellmann MD, Shen R, Janjigian YY, et al. Tumor mutational load predicts survival after immunotherapy across multiple cancer types. Nat Genet. 2019;51(2):202-206.
170. McGranahan N, Furness AJS, Rosenthal R, Ramskov S, Lyngaa R, Saini SK, et al. Clonal neoantigens elicit T cell immunoreactivity and sensitivity to immune checkpoint blockade. Science. 2016;351(6280):1463-1469.

THE ROLE OF STAFF TRAINING AND MANAGEMENT DEVELOPMENT ON EMPLOYEE ENGAGEMENT AND MOTIVATION IN THE NIGERIAN PUBLIC SECTOR - A CASE OF NATIONAL OPEN UNIVERSITY OF NIGERIA (NOUN)

DR CHUKWUEMEKA GODSON EME
Department Of Business Admnistration, Faculty Of Management Sciences,
National Open University Of Nigeria, Jabi-Abuja

ABSTRACT
Staff training and management development is mainly a powerful tool to enhance organizational performance, competitiveness and economic growth. Both organizations and employees, as well as nations, needs training. Employees need to develop their careers or to get better compensations; organizations need skilful and efficient employees to improve performance and productivity, promote competitiveness, decrease absenteeism and turnover as well as to improve client satisfaction; governments depend heavily on a skilled labour force with the capacity to learn, adapt, and master competitiveness in a globalized economy.The study adopted survey research design. Extant literature on staff training and development process and its relationship with employees' performance are silent. We explore the role of staff training and management development in employee motivation in the Nigerian Public Service. We propose that the stages of staff training and management development process influence employee performance. The results support our proposition and also produce five stages which constitutes the stages of the training and development process. In addition, the design stage emerged as the strongest predictor of employee's performance-the most important stage of the training and management development process in the sector.
Key Words: Staff training, management development, motivation, employee performance, Nigerian public service, National Open University of Nigeria (NOUN)

1.0 BACKGROUND OF THE STUDY:

In today's ever challenging competitive environment, employees have to be kept current on the skills and knowledge they need to contribute to the achievement of organizational objectives. Training and management development has become a potent factor of success.Training and management development therefore present the opportunity to widen and expand the knowledge base of all employees. Yet, some employers of labour still consider training and management development programmes for the workforce as waste of resources. They argue that the employee will lose many productive hours of work while attending training sessions, which may delay the completion of projects on schedule. Furthermore, training imposes heavy costs on the firm. Despite the contending argument, training and management development provides both the organization as a whole and the individual employees with benefits that make the costs incurred and the time spent a worthwhile investments **(Campbell, 2000).**

In most industries, the yearly increase in the level of productivity that is required to sustain and retain leadership position in the industry has increased dramatically. What is needed, essentially, is a continuous level of innovation both in product and in business processes. Increased efficiency and continuous improvement in the processes are not sufficient under current realities to sustain dominant position. Therefore, organizations must develop processes and also train the employees and provide them with incentives to sustain high level of productivity in the enterprise **(Jones & Hills, 2000).**

Many countries in the world are becoming increasingly aware of the fact that economic growth does not occur as a result of new technology or perfect combination of factors of production, it also depends on the development of human resources.Some writers see ‘’training’’ and ‘’management development’’ as synonymous. Others look at them as different concepts. **Jonesand Hills (2000)** believe that ‘’training’’ primarily focuses on teaching organizational members how to perform their current jobs and helping them acquire the knowledge and skills they need to be effective performers. ‘’Management development’’ on the other hand, focuses on building the knowledge and skills of organizational top executive members so that they will be capable of making better decisions and taking on new responsibilities and challenges.

The word ‘’Development’’ or precisely ‘’Management Development’’ is used in relation to the process of helping managerial employees who perform non-routine jobs to improve on their managerial administrative and decision-making abilities.Management development involves training, educating and improving the knowledge of the senior management staff in an organization **(Adamolekun, 1983).** The focus of management development is on the long term preparation of employees for future work demands. Management development contributes to business success by helping the organization to grow the managers it needs to meet its present and future needs. It helps to improve the performance of managers, gives them the opportunity to apply their own initiatives and engage on creative thought. Management development efforts provides for management succession.

Management development is the process of developing of manager’s knowledge, skills and attitude through instructional demonstrations and practical exercises to meet the present and future needs of the organization **(Humble, 1979).**An effectively realized and conducted career development has a number of potential benefits and purposes which are beneficial both to the individual as well as to the organization. These benefits include: to strengthen the relationships between the individual and the organization; to help individuals to realize their potentials; to reduce managerial and professional obsolescence; to aid affirmative action and provide equal opportunities to all; to demonstrate social responsibility; to encourage the long-range outlook/retain managerial personnel for a long period of time amongst others.

Manpower training must be provided by experts who know how to train. Therefore, while determining to make training programmes effective, it must be geared towards particular needs and goals of the enterprise. In other words, the training programme must be well-developed, adequately conducted and implemented by competent trainers and instructors. Above all, training exercise must be properly evaluated to determine whether or not those specific goals on which it was directed had been achieved.

Training programmes must pass through careful investigation and analysis in its various stages from the assessment of needs to programme evaluation. **Mc Ghee and Thayer (2011),** identified three major areas that need to be analysed while packaging a training programme. These areas are as follows:

i) **Organizational Analysis**: Determining where training emphasis should be placed within the organization.

ii) **Operational Analysis:** Determining what the content of the training programme should be with regards to the employees’ requirement for performing their job effectively.

iii) **Manpower Analysis**: Determining the skills, knowledge and characteristics an employee should possess if he is to perform the job assigned to him in the organization effectively.

Obisi (2011) highlighted some vital issues in Training and Management development of employees in Nigerian tertiary institutions and corporate organizations. According to the

author, the following issues are relevant to training and management development effectiveness.

- Organizational training and development philosophy
- Strategic focus in training
- Planning the training programme
- Identifying training objectives
- Evaluation of training

Any organization that does not have a clear staff development philosophy is bound to fail because this invariably means that such organization does not have a serious approach for staff training and management development. Training activities in an organization should be a continuous process and not a once and for all activity. Effective training should be one designed to solve problems and to fill gaps in employee performance. It is not proper for any organization to embark on any training which is not relevant to it and its people. Moreover, the organizationshould embark on a planned training and management development programmes and not haphazard ill-timed programmes.

An organization has to evaluate their training programmes to enable them to find out whether or not the training has achieved its purpose and objectives. One of the ways of evaluating training programmes is by getting reactions from the trainees by asking those who attended the training sessions to write a report or by designing a comprehensive questionnaire soliciting their response on the programme.

2.0 OBJECTIVES OF THE STUDY:

The ultimate aim of every staff training and management development is to add value to human resources. Any training and management development that does not add value should be abandoned. Organizations should therefore make training and management development of their workforce a continuous activity**(Obisi, 2011).**This research study tries to weigh and measure the assumption that training and management development is the key factor for improving organizational productivity. The researcher undertook an intensive study aimed at finding out the effectiveness of staff training and management development in the achievement of improved productivity in Nigerian Universities with particular reference to the National Open University of Nigeria (NOUN).

3.0 STATEMENT OF THE RESEARCH PROBLEM:

Many management experts have asserted that training and management development is the key element in the process of productivity improvement. Thus, staff training and management development as human resources strategy is gradually becoming an invaluable factor for sustainable organizational growth.Therefore, this study is aimed at evaluating training and management development as a strategy for improving productivity in the Nigerian Universities, with particular reference to the National Open University of Nigeria (NOUN) where the researcher is a staff.

Furthermore, recent shift in focus have recognized human resources as the most valuable asset of any organization. With the availability of machines, materials and even money, nothing can be done without the involvement of human beings who possess the skills and knowledge for organizational performance. Training and management development is the magic wand employees need to enhance their performance and realize their potentials. Therefore this study seeks to find out the effects of training and management development and its relationship to the

profitability of an educational institution, in this case Nigerian Universities, with particular reference to the National Open University of Nigeria (NOUN).

4.0 SCOPE AND LIMITATIONS OF THE STUDY:

This study limits itself to finding out the extent to which training and management development of workers impacts positively on productivity in Nigerian Universities. It tries to discover whether intensified training and management development has the capability to ensure continuous improvement in organizational productivity.Conducting an effective research in Nigeria is not always easy due to the fact that most people are reluctant to release information needed for research study. The researcher will devote enough time and effort in making sure that enough data are gathered to accomplish the research work. There is also the problem of time constraint as the researcher had to carry out the research work alongside his official duties as a staff of the National Open University of Nigeria (NOUN).

5.0 METHODOLOGY:

It is often said that a research without a proper research design is like a boat without a Rudder to direct its course in the sea. **Oladele (2007)** defined research as an organized engine aimed at finding and identifying research problems. This research paper employed a descriptive method of study**. Gay (1981**) defined a descriptive research as a process of collecting data in order to test hypothesis or answer questions concerning the current status of the subject in the study. In addition, the author pointed out that the purpose of a descriptive research is to determine and report the way things are done and to describe such things as possible behaviour, attitude, values and characteristics. These descriptions of descriptive research match with the purpose of this study as its intention is to assess whether or not training and management development of employees has positive effect on organizational productivity in the Nigerian universities with particular reference to the National Open University of Nigeria.

6.0 CONCLUSION:

This research provided University administrators in Nigeria with thorough understanding of the merits of training and management development of employees and its usefulness as vehicle for achieving improved productivity which translates to increased operational revenue for their institutions. The study has proved to be beneficial to human resources managers and others concerned with personnel management. It also help them to better understand and appreciate the usefulness of training and management development to the improvement of organizational productivity. Armed with this knowledge, the human resources managers is in a better position to advice management on the need to encourage and fund training programmes for their workforce. The study equally contributed some knowledge to the academic community by serving as useful resource for future researchers in the same area of study.

REFERENCES:

Adamolekun, L. (1983), Public Administration: Nigeria and Comparative Perspective' London, Longmans
Publishers.
Asika, N. (1991), Research Methodology: Ikeja, Longman Plc., Nigeria.
Aina, S. (2005), Managing the Capital in Nigeria: Ikeja, Nigeria. Fountain Training Consult.

Bernalin, J. (2007), Human Resources Management: McGraw-Hill, 7th Edition
Campbell, C. (2011), An Approach to the Training and Development of Managers:Gulf Publishing, Texas, U.S.A.
Close, R. B. (1981), Production and Operations Management: A life Cycle Approach;McGraw Hill Publication.
Cassio, W. F. (2006), Managing Human Resources Productivity: McGraw Hill, 7th Edition.
Gay, M. (1981), Research Methodology: McGraw Hill Book Publishing, New York, U.S.A.
Hawlyshyn, A. (1975), Personnel Management Education – A Conceptual Framework:McGraw Hill (UK).
Hippo, E. B. (1996), Principles of Personnel Management. McGraw Hill Book Publishing New York, U.S.A.
Hornby, A. S. (2000), Oxford Advanced Learners Dictionary of English; Oxford University,Press.
Humble, R. (1979), Management, Macmillan, New York, U.S.A., Sixth Edition.
Jones, P. et al (2000), Contemporary Management; New York, Irwin and McGraw Hills.
Lyndon, R. P. and Paneek, U. (2017), Training Development, Irvin Durnsey Publications,page 12.
Mc Ghee, W. A. & Thayer, P. (2011), Training in Business and Industry. John Willy & SonsInc., London, p.1.
Obisi, C. (1996), Personnel Management: Freeman Publications, Ibadan, Nigeria.
Obisi, C. (2011), Employee Training and Development in Nigerian Organizations: Some observation and
Agenda for Research. Australian Business and Management Research, vol. no. 9.
Oladele, O. (2007), Introduction to Research Methodology: Niyat Publishers, Lagos.
Onah, F. O. (2003), Human Resources management, Enugu: Fullado Publishing Company.
Obikere, D. S. (1980), Methods of Data Analysis in Social and Behavioural Sciences:
Auto Century Publishers Limited, Nigeria.
Wolfbein, S. (1996), Education and Training for Full Employment: Columbia University, Paris, Columbia, USA.

THE EFFECTS OF LEADERSHIP STYLES ON ORGANIZATIONAL PERFORMANCE: AN EMPIRICAL EVIDENCE FROM SELECTED MANUFACTURING FIRMS IN NIGERIA

DR. CHUKWUEMEKA G. EME (Ph. D)
Lecturer, Department of Business Administration, Faculty of Management Sciences, National Open University of Nigeria (NOUN), Jabi – Abuja

Abstract
Leadership styles in today's world is an increasingly complex and a popular organizational dynamics to work upon. Leadership skill to a great extent is the bedrock of any business or organization. Therefore, only people who can manage other people of different races, who are highly creative and innovative, and can successfully salvage dire situations in case of emergencies, are worthy to be called leaders. Different leadership styles are appropriate in distinct situations. If an inappropriate style is adopted by the leader, it may pose several challenges for the workers, managers, and human resources departments in the planning and execution of work in an organization. Similarly, the satisfaction and performance levels of employees also depend upon the leadership styles adopted by corporate leaders. An appropriate leadership style paves way to delivering successful plans for fulfilling the long-term organizational goals. Little is however understood about which leadership style influence employees the most and how leadership behaviors lead to acceptable outcomes. This paper reviews some of the current challenges in organizations which are faced by managers and the productivity levels for the same. This research statistically calculates and analyzes the leadership styles of 35 respondents and which category they fall into depending upon their behavioral attributes to deal with people through a survey questionnaire of 25 questions. It further helps us conclude which leadership style is the most relevant for highest level of productivity in manufacturing firms, employees and managers. It also gives an insight on managerial behaviors and relationship of employees and managers in a less formal organizational setup.
Key Words: Leadership styles, Leadership behavior, Employee perception of leadership, manufacturing companies

1. Introduction

There has been significant theoretical and empirical work carried out on leadership styles and organizational performance across the globe. For some decades now, how leadership impacts on organizational performance has gained prominence among academics and practitioners working in the area of leadership (Khajeh, 2018; Bhargavi & Yaseen, 2016; Igbaekemen & Odivwri, 2015; Giambatista, 2004; Rowe et al., 2005). This is premised on the notion that a style of leadership of an organization has a correlation with organizational performance (Rowe et al., 2005). The style of leadership adopted is considered by some researchers to be particularly important in achieving organizational goals and in evoking performance among subordinates (Sadia & Aman, 2018; Klein et al., 2013; Berson et al., 2001; Zacharatos et al., 2000; Barling et al., 1996). Organizations undergo rapid changes daily as a result of diverse factors. Some of these factors are external such as competition, global market trends and technological changes. Some of the changes over time also occur within the organizations themselves. Examples are employee motivation, innovation, organizational culture and human

resource strength (Haque et al., 2015; Igbaekemen & Odivwri, 2015; Bass & Riggio, 2006). All these tend to affect the performance of these organizations. One key factor that also has the potential to largely affect an organization's performance is its leadership (Ng'ethe et al., 2012; Jeremy et al., 2012).

The role of leaders in ensuring excellent organizational performance cannot be over emphasized. Adequate motivation, suitable work environment, compensation, efficient communication between managers and subordinates play an important role in promoting this goal. Planning and organization of work is also very crucial. It has been argued by some researchers that the most common problems affecting organizational performance in business and other institutions are poor attitude to work among workforce, inefficiency as well as ineffectiveness of leaders in most places, though others share a contrary view (Haque, Faizam, & Cockrill, 2007). Leadership style practiced by an organization has an impact on the success or otherwise of its operations. Leadership style in an organization is one of the factors that play significant role in enhancing or retarding the interest and commitment of the individuals in the organization (Bhargavi & Yaseen, 2016; Obiwuru et al., 2011).

Performance continues to be a key issue among organizational researchers and employees are bound to perform mwell where they are treated well (Haque, Faizan, & Cockrill, 2007; Barney, 1997). Javier (2002) has asserted that performance is equivalent to the famous 3Es (economy, efficiency, and effectiveness) of a certain program or activity. However, according to Daft (2000), organizational performance is the organization's ability to attain the goals by using resources in an efficient and effective manner. Quite similar to Daft (2000), Ricardo & Wade (2001) rather define organizational performance as the ability of the organization to achieve its goals and objectives.

Organizational theorists contend that effective leadership is one of the most important contributions to overall organizational success (Weber, 2009; Ricardo & Wade, 2000; Pettinger, 2000; Barney, 1997; Kotler & Heskett, 1992; Ricardo & Wade, 2001). Many leadership theories have been proposed in the last fifty years, which are claimed to have influenced the overall effectiveness of organizations where they have been employed. In the competitive world with technological changes within the business environment, it is vital that organizations employ leadership styles that enable them to survive in a dynamic environment (Maritz, 1995; Bass, 1997). Without leadership, the probability of mistakes occurring increases and the opportunities for success become more and more reduced. The role of a leader is vital for the survival and progress of an organization. Al Khajeh (2018) and Bhargavi & Yaseen (2016) in their study on leadership and organizational performance suggest that the role of leadership is critically important for an organization to achieve a high level of performance.

It is contended that organizations do not only exist for survival, but also to sustain their existence by improving performance. In order to meet the needs of the highly competitive markets, organizations must continually increase performance by adopting the appropriate leadership style. Leadership style is a key determinant of the success or failure of any organization. Leaders influence, direct, and motivate others to perform specific tasks and also inspire subordinates. Literature suggests that the role of leadership is critically important for achieving the performance of organizations. To this end, some studies argue that effective leadership role in improving organizational performance are mixed (Uchewamgbe, 2013; Hambrick, 2007; Katz & Kahn, 1978). This study aimed to examine the effects of leadership styles in organizational performance using an empirical evidence from selected manufacturing firms in Nigeria.

2. Literature Review

2.1 Understanding Leadership

Leadership has been a topic of study for social scientists for much of the twentieth century, yet there has been no consensually agreed-upon definition of it (Jyoti & Bhau, 2015; Sofi & Devanadhun, 2015; Xu & Wang, 2008; Bass, 1990). Many authors have studied this phenomenon, and some have argued that there is no conscious definition of what leadership is, no dominant paradigm for studying it, and little agreement regarding the best strategies for developing and excising it (Bennis, 2007; Hackman & Wageman, 2007; Vroom & Jago, 2007). However, Ngodo (2008) views leadership as a form of direction in which a person can give to a group of people he steers affairs in such a way that will influence behavior of another individual, or group. Ngodo (2008) perceives leadership to be a reciprocal process of social influence, in which leaders and subordinates influence each other in order to achieve organizational goals. Sun (20020 defines leadership as the process of influencing people so that they make an effort by their own will and enthusiasm towards obtaining the group's goals.

Leadership is a critical management skill, involving the ability to encourage a group of people towards a common goal. Leadership focuses on the development of followers, their needs and building their capacity (Klein et al., 20130. It is imperative for managers occupying leadership positions to focus on the development of value system of employees, their motivational level and moralities with the development of their skills (Uchewamgbe, 2013; Ishmail eta l., 2009). This approach will essentially help their followers achieve their goals as they work in the organizational setting. As posited by Khan et al. (2014), followers will be encouraged to be expressive and adaptive to new and improved practices and changes in the environment.

According to Michael (2010) leadership has a direct cause-effect relationship upon organizations and their success. Leaders determine values, culture, change tolerance and employee motivation. They shape institutional strategies including their execution and effectiveness. It should be stressed that leaders can be found at any level of an institution and are not exclusive to management. Successful leaders do, however, have one thing in common. They influence those around them in order to reap maximum benefit from the organization's resources, including its vital and expensive human resources/capital. This success can only be achieved and probably sustained in organizations where appropriate leadership style or styles are employed at a given time. Leadership is also a process which involves the use of non-coercive influence to shape a group or organizational goals, motivate behavior towards achieving the goals as well as define the group's culture (Northouse, 2009).

Despite the variations in the definitions, there are at least three implications of these definitions. Firstly, leadership is a process engaged in by certain individuals (leaders). It is an ongoing activity in an organization. Secondly, it involves other people in the form of subordinates or employees who by their willingness are influenced by the leader. Therefore, the subordinates formalize the leader's authority by making leadership process possible. Thirdly, the aim of leadership is the accomplishment of a goal and objectives. A seemingly endless variety of definitions have been developed, and there is a common thread which runs through all the definitions and that is the concept of influence. Leaders therefore influence others to help accomplish group and organizational objectives. However, it should be noted that the use of appropriate leadership style at a given time is a conduit for organizational success.

2.2 Types of Leadership Styles

Harris. Leithwood, Day, Sammons & Hopkins (2007, 337-347) postulated that leadership styles is the kind of relationship that is used by an individual to make people work together for a common goal or objective. According to Mitonga-Monga, Coetzee & Cilliers (2012, 5389-5398), leadership style is the pattern associated with managerial behavior, which is designated to integrate the organizational or personal interests and effects for achieving particular objectives. Different styles of leadership adopt different methods of leading subordinates and therefore, produce different results. It is against this backdrop, that this section tends to review different types of leadership styles and how they influence subordinates to yield desired results.

2.2.1 Transformational Leadership Style

According to Bass (1985), a transformational leader's behavior originates in the personal values and beliefs of the leader and motivates subordinates to do more than expected (Obiwuru, Okwu, Akpa & Nwankwere 2011, 100-111). Transformational leadership style focuses on developing the followers and considering their needs. Managers that concentrate on transformational leadership focus mainly on developing the general value system of the employees – development of skills, motivation level and moralities (Ebrahim 2019, 1-8).

In transformational leadership, the subordinates trust, admire and give absolute respect and loyalty to the leader. Moreover, they are motivated to do more than what was initially expected to do (Obiwuru et al., 2011, 100-111; Bass 1985). The transformational leader then motivates th subordinates by making them initially aware of the significance of task outcomes, impelling them to transcend their own self-interest for the sake of the organization and activating their higher-order needs. According to Bass & Avolio (1994), the leader encourages the followers to think critically and seek new ways to approach their jobs, resulting in intellectual stimulation. Podsakoff, MacKenzie & Bommer (1996, 259-298) opined that there is an increase in the level of performance, satisfaction and commitment to the goals of an organization, as a result of transformational leadership style. Bass (1990) proposed four components of transformational leadership to include charisma, inspirational motivation, intellectual stimulation and individual consideration (Obiwuru et al., 2011, 100-111). Firstly is charisma or idealized influence, which in the words of Humphreys & Einstein (2003, 85-95) is characterized by vision and a sense of mission, instilling pride in and among the group, and gaining respect and trust. Charismatic behavior induces employees to go beyond self-interest and self-curiosity for the sake of the team, providing reassurance that obstacles will be overcome, and promoting confidence and certainty in the achievement and execution influence (Conger & Kanungo 1987, 637-647; Howell & Frost, 1989, 243-269), and followers place an excessive amount of confidence and trust in charismatic leaders (Howell & Avolio 1993, 891-902). According to Jyoti & Bhau (2015, 1-13), the idealized and behavioral charisma of a transformational leader motivate the followers to identify with the leader. The personalized relationship developed by a transformational leader creates an environment in which the employees are happy and fulfilled. Hence, their overall performance is improved which inevitably increases organizational productivity and performance.

Secondly is inspirational motivation, which according to Obiwuru et al. (2011, 100-111) is usually a companion of charisma and is concerned with a leader setting higher standards, thus becoming a sign of reference. Bass (1985) opined that followers look up to their inspirational leader as one providing emotional appeal to increase awareness and understanding of mutually desirable goals (Obiwuru et al. 2011, 100-111). This is evident by the communication of high

expectations and expressing relevant objectives in simple terms. The leader always talks optimistically about the future, speculating a compelling vision for the future and providing an exciting sense of organizational change (Bass & Avolio 1994). Bass (1990) stressed that motivation occurs by providing meanings and challenges to the followers' work, hence individual and team spirit are aroused, and enthusiasm and optimism are displayed (Obiwuru et al. 2011, 100-111). The leader encourages followers to envision attractive future states for the organization and themselves.

Thirdly is intellectual stimulation, which according to Bass (1985) provides followers with challenging new ideas, and encourages them to break away from the old ways of thinking (Obiwuru et al. 2011, 100-111). The leader is characterized as one encouraging intelligence, logical thinking, careful problem solving and methodical ability. Bass & Avolio (1994) stressed that the attributes include seeking different perspectives when solving problems, suggesting new ways of examining how to complete tasks and encouraging re-thinking of ideas that have not been questioned in the past (Obiwuru et al. 2011, 100-111). The leader motivates the subordinates to be inquisitive by questioning assumption, and to be creative by approaching old situations in new ways, and reframing problems.

Finally is the fourth component of transformational leadership, which is individual consideration. It involves developing followers by coaching and mentoring (Obiwuru et al. 2011, 100-1110; Bass 1985). The leader carefully observes the inter-individual differences amongst the followers and acts as mentor to them. The leader coaches and help others to discover and develop their strengths, as well as listens attentively to others' concerns (Bass & Avolio 1994). Bass (1985) stressed that followers are treated individually in order to raise their levels of maturity, and to enhance effective ways of addressing their goals and challenges (Obiwuru et al. 2011, 100-111).

The transformational leadership portrays a strong bridge between followers and leaders, resulting to clear understanding associated with the motivational level, values and interests. Bass & Avolio (1994) stated that transformational leadership demonstrates the superior leadership performance. Transformational leadership occurs when the leader elevates the interest of the employees by encouraging them to look beyond their self-interest. Transformational leaders are effective and productive because of some reasons which include the leaders may be charismatic in terms of motivating the employees, transformational leaders may meet the emotional needs of the employees or they may arouse the employees intellectually (Bass & Avolio 1994).

A study carried out by Wang, Oh, Courtright & Colbert (2011, 223-270) discovered that transformational leadership and individual-level follower performance are positively linked. The study also indicated that transformational leadership and performance of teams at organizational level are associated positively. Xu & Wang (2008, 1090-1097) opined that performance is the function of knowledge, motivation, skills and abilities which are directed towards a prescribed behavior. Their study revealed that transformational leadership identify with a self-defining and satisfying relationship with an individual or group. Jyoti & Bhau (2015, 1-13) found that transformational leadership and organizational performance are positively associated. Sofi & Devanadhen (2015, 31-45) opined that transformational leadership has a significant impact on the performance of the organization. They conducted a study on banking organizations with the help of statistical tools such as Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) and concluded that transformational leadership has a direct positive impact on the organization's performance.

2.2.2 Transactional Leadership Style

According to Uchenwamgbe (2013, 53-73), leaders are known as transactional leaders if they are always willing to give something in return such as pay rise, promotion, new responsibilities, performance reviews and welfare schemes. The principal problem with this style of leadership is the expectation. Ojokuku, Odenayo & Sajuyighe (2012, 202-207) defined transactional leadership as the exchange of targets and rewards between management and employees.

A study carried out by Longe 92014, 68-83) revealed that transactional leadership style has a positive impact on the organizational performance. Longe (2014, 68-830 further revealed that the transactional leadership style helps in creating, as well as sustaining the context in which organizational and human capabilities are maximized as the employees are always able to achieve the tangible and intangible rewards. This leadership style majorly results in creating an environment that is optimal for performance, and also articulates the persuasive vision that enhances the overall organizational performance (Longe 2014, 68-83). According to the research carried out by Sofi & Devanadhen (2015, 31-45), transactional leadership was not found to have a direct impact on the performance of the organization. They concluded that transactional leadership style does not encourage creativity and innovation among the employees and hence, employees do not perform as per the expectations of the organization.

Transactional leadership according to Obiwuru et al. (2011, 100-111), involves an exchange process that results in followers' acquiescence with leaders' request but not promising to generate enthusiasm and commitment to task objective. Boehnke, Bontis, Distefano & Distefano (2013, 5-15) states that the leader focuses on having internal actors perform the tasks required for the organization to reach its desired goals (Obiwuru et al. 2011, 100-1110. The goal of the transactional leader is to ensure that the path to goal attainment is broadly understood by the internal actors to remove possible barrier within the system and to motivate the team to achieve the predetermined goals and tasks (House & Aditya 1997, 409-473).

According to Obiwuru et al. (2011, 100-111), transactional leaders show constructive and corrective behaviors. Constructive behavior consists of contingent rewardm and corrective behavior imbibes management by exception. Contingent reward is the simplification of the work required to obtain rewards and the use of welfare schemes and contingent reward to exert influence. It considers followers' desires and gives accolades when goals are achieved. Bass (1985) opined that the clarification of goals and objectives, and provision of recognition once goals are achieved should result in individuals and groups achieving expected levels of performance (Obiwuru et al. 2011, 100=111). Obiwuru et al. 92011, 100-111) stressed that active management by exception refers to the leader setting the standards for compliance as well as for what constitutes ineffective performance and may include punishing followers for non-compliance with those standards. This style of leadership therefore implies close monitoring for deviances, mistakes and errors, and then taking corrective actions as quickly as possible when they occur.

2.2.3 Autocratic Leadership Style

The autocratic leadership style is also known as authoritative leadership style. According to Mgbeze (2014), while some input is sought from subordinates, the leaders regard their influence as the key element in any major decision or job outcome. Mgbeze (2014) further stressed that the authoritative leader accomplishes ends through imparting a clear, compelling vision, sees to it that the vision is built into strategic planning, and guides actions throughout the organization. The authoritarian sets clear directions, monitors progress closely and declares to subordinates the position they wish them to adopt by elucidating why certain things are

expected, done or required and how individual actions adapt into the larger picture. Mgbeze (2014) opined that the feedback authoritarian offers may be positive or negative but clear, and treatment of subordinates to be firm but fair. It may shade over into a directive style when subordinates are given very little power or decision-making authority.

Autocratic leaders are classic, commanding and bossy in nature; they want their employees to work according to their orders. Typically, autocratic leaders preserve the rights to make decisions (Obiwuru et al. 2011, 100-111). Ebrahim (2018, 1.8) stressed that autocratic leaders force their followers to execute the services and strategies according to the narrow way in their views. A study by Iqbul, Anwar & Haider (2015, 1-6) to determine the effect of leadership style on employee performance showed that autocratic leaders are lacking in creativity and only promote one-sided conversation, which greatly affects the innovation and satisfaction level of the employees. The autocratic leadership style is however effective in the short term.

Autocratic leadership limits the workplace socialization and communication which is necessary for effective organizational performance. The autocratic leadership also enhances organizational conflicts which negatively affect the overall performance (Iqbul et al., 2005, 1-4). The study conducted byBhargavi & yaseen (2016, 87-117) revealed that the autocratic leadership leadership style has a positive impact on the organizational performance. According to Bhargavi & Yaseen (2016, 87-117), this leadership style is more suitable when projects are to be completed within provided deadlines. Igbaekemen & Odivwri (2005, 1.7) conducted a study on the impact of leadership style on the performance of organizations; they concluded that an autocratic leader is the one who determines the activities, techniques and policies to the employees, and expects the employees to follow the same. They further stressed that such leaders do not have much faith on their followers.

2.2.4 Democratic Leadership Style

Democratic leadership also referred to as participative leadership, is a type of leadership style in which members of the group take a more participative role in the decision-making process. This style of leadership dwells on performance and people (Bhargavi & Yaseen, 2016; Puni et al., 2014). Democratic leadership style encourages employees to participate in the decision-making process of the organization (Nwokocha & Iheriorhanma, 2015). According to Puni et al. (2014), decision making in a democratic system is not centralized and high performance is recognized and rewarded. Nwokocha & Iheriohanma (2015) on the other hand suggest that there is potential for poor decisions to be made by the employees or subordinates. This can be said to have a negative impact on the organization and can also instigate turnover intention in employees. It is therefore expected that brainstorming of ideas and collective decisions are arrived at by all concerned.

The democratic leadership sounds good in theory but it is often bogged down in its slow decision making process and the results which could seem workable would always require a lot of time and effort (Nwokocha & Iheriohanma, 2015). The democratic leader allows for decision making to be shared by the leader and the group. Criticisms and praises are objectively given and a feeling of responsibility is developed within the group. Kotler (1995) argued that this form of leadership is claimed to be earliest amongst all other leadership style. The leader discusses with subordinates before he issues general or broad orders from which subordinates feel free to act on (Bhargavi & Yaseen, 2016). The superior allows the subordinates opportunity to use their initiative and make contributions. The leader also offer support to the subordinates in accomplishing task. Characteristics of democratic leadership include: the fact that group members are encouraged to share ideas and opinions, even though the leader retains the final

say over decisions, members of the group feel more engaged in the process and creativity is encouraged and rewarded. Democratic leadership yields a lot of benefits. Subordinates are encouraged to share their thoughts, it can also lead to better ideas and more creative solutions to problems (Sadia & Aman, 2018). Employees also feel more involved and committed to projects, making them more likely to care about the end results. It is perceived that democratic leadership style leads to higher productivity among group members.

Mgbeze (2014) stressed that the democratic leader considers close supervision unnecessary after trust has been established, and negative feedback is offered sparingly. In democratic leadership style, the possibility of weak execution and poor decision-making is high. Therefore, the democratic leadership is also widely known to motivate the employees to perform better, as their views and opinions are valued, and it gives them room for participation in crucial meetings, and are also carried along in the decision-making process. Rukmani, Ramesh & Jayakrishman (2010: 365-370) hinted that a major problem with democratic leadership is the assumption that everyone involved has an equal stake in decision-making, with a shared level of expertise.

A study by Elenkov (2000, 467-480) indicated that the democratic leadership has a positive impact on organizational performance and stressed that the leadership style allows the employees to make decisions along with sharing them with the group and the manager. Elenkov (2000, 467-480) opined that in democratic leadership system, praises and criticism are given objectively, and a sense of responsibility is also developed among the employees. Bhargavi & Yaseen (2016: 87-117) investigated the impact of democratic leadership on organizational performance; their findings revealed that this leadership style positively affects the performance of the organization, as it provides opportunities to the employees to express and implement their creative ideas, and take part in the decision-making process.

A major advantage of the democratic style of leadership is that it prepares future leaders and helps the organization in the long run. Choi (2007, 243-262) stressed that a democratic leader is the one who focuses on the group discussion and participation, and as a result, positively influences the performance of the subordinates. Thus, the democratic style of leadership can be used to advance the organizational performance, as well as the efficiency.

There are however some downsides of democratic leadership. In situations where roles are unclear or time is of the essence, democratic leadership can lead to communication failures and uncompleted projects. In some cases, group members may not have the necessary knowledge or expertise to make quality contributions to the decision-making process. Democratic leadership works best in situations where group members are skilled and eager to share their knowledge. It is also important to have plenty of time to allow people to contribute, develop a plan and then vote on the best course of action.

2.2.5 Laissez-Faire Style of Leadership

Laissez-faire is a French phrase which means ‘’let it be’’ amd it is also known as the ‘’hand off style’’ (Nwokocha & Iheriohanma, 2015: p. 194). According to Gill (2014), it means leaving subordinates to complete tasks and jobs in the way they choose without adherence to any strict policies or procedures. Bass (1985) describes the laissez-faire leadership style as one in which the leader has no belief in his own ability to supervise. He further states that the leader has no clear set goals towards how they may work, does not help the group in making decisions and so leave too much responsibility with subordinates. According to Puni et al. (2014), the laissez-faire leader avoids controlling his employees and so only relies on the few available employees who are loyal to get a task done.

It is argued that laissez-faire leaders do not believe in employee development as they believe that can take care of themselves (Puni et al., 2014). This leadership style cannot be said to be operational in the banking sector or Non-Governmental Organizations which require that both the leader and subordinates have an input in the decision making process and completion of tasks to ensure the success of the organization. This is defined as a style of leadership m where leaders refuse to make decisions, are not available when needed, and choose to take no responsibility for their lack of leadership ability. Laissez-faire leaders do not use their authority and avoid taking actions. It is considered a passive and ineffective form of leadership. This style favors the installation of a relaxed working atmosphere; it brings down morale and reduces efficiency of the group. With this type of leadership style, leaders attempt to pass the responsibility of decision making process to the group. The group is loosely structured as the leader has no confidence in his leadership ability. A laissez-faire leader may either not intervene in the work affairs of subordinates or may completely avoid responsibilities as a superior and is unlikely to put in effort to build a relationship with them. Laissez-faire style is associated with dissatisfaction, unproductiveness and ineffectiveness (Deluga, 1992). This however, is debatable. Decision making under this style of leadership is performed by whoever that is willing to accept it.

2.3 External Factors Affecting Leadership Styles

Selection and utilization of an appropriate leadership style helps an organization to achieve its aims and objectives faster. According to Finch (2019), leaders are able to influence and guide people under them, so that the organization can become more effective in achieving its goals. However, leaders' effectiveness is limited and affected by some external factors, which according to Finch (2019) include organizational environment, organizational resources, employees' roles, organizational culture and employees' diversity.

2.3.1 Organizational environment

Organizations have their own peculiar work environment with its own values and norms, which is a bequest of past leaders, as well as current leadership. These values are the concerns that the organization has for investors, customers, staff and the community, and they determine how the business' goals will be nurtured and accomplished. Goals are the personalities of the organization's values and concepts that define products or services. Leaders must carefully select the environment based on the concepts of the products or services being rendered. However, some dangers must be put into consideration irrespective of the potentials of environment. An unstable or unsecure environment where there is usually unrest and riots or protests by citizens must be well structured and protected before embarking on businesses (Beardwell & Thompson, 2017).

The condition of the work environment influences the activities of employees, while further affecting the implementation and completion of given tasks. The work environment can also affect the time of tasks completion, as well as the transition mode of tasks. According to Roberts & Hunt (1991), work environment can be physical elements that directly or indirectly affect the performance and productivity of employees. These physical environmental factors may include temperature, air circulation, sunlight, and weather conditions. Some work environment conditions are also non-physical as they affect the functionality of employees, and these may include interpersonal relationships with co-workers, be it subordinates or superiors.

2.3.2 Organizational resources

Leaders rely on organizational resources such as finances, technology and staff to achieve their goals. The success of the manager depends exclusively on how resources are successfully managed. Leaders must ensure unrestricted access to necessary resources, in as much as they are needed for the management of the business. Resources delivered late definitely have an impact on the smooth running of the organization. Hence, leaders must ensure early arrival of resources for the job ahead and make sure every resource is accounted for and used for the purposes meant for. Wastage of valuable resources is another factor affecting the effectiveness of leaders. Dissipated human resources, unaccountable funding and unmaintained equipment can limit the workforce and eventually minimize the productivity of the team (Finch, 2019).

The resources at the disposal of the manager go a long way in dictating the success or failure of the leader. Salahuddin (2010, 1-6) opined that technological advancement and innovation through modernization is a major key to the success of a leader. Integration of Information and Communications Technology (ICT) into the operational system of the organization will massively increase the performance of the organization. However, a decline in technology will shrink the organizational effectiveness, thereby breaching the manager-subordinate synergy and showcasing the incompetency of the manager. Poor financial standing of the firm also reduces the effectiveness of the leader, as proposed aspirations can only be driven when financial obligations are met.

2.3.3 Employees' roles

Finch (2019) stressed that when employees take on a role in an organization, their position is defined by the tasks and responsibilities they must perform in relation with others. Employees have different levels of maturity in relating to, as well as executing tasks and relationships that impact the style of leadership needed to guide them. Employees also affect the organization by their work norms and personal values. Organizational functions have pitfalls and roadblocks that leaders must identify and minimize in order to help staff accomplish their tasks. Subordinates should stick to their assigned duties and perform every job assigned to them diligently and with high sense of responsibility.

In structuring the participation of employees in the functionality of the organization, three different structural dimensions can be adopted. The first structural dimension is formalization, which entails the degree at which an organization illustrates the functionality of employees using rules and procedures. This describes some basic determinants factors guiding a given task such as when to, how to and who take(s) part in a given. The second structure dimension is centralization which is the extent to which some personnel are embedded with the responsibility of making decisions. In this mode, delicate decisions are made at the top management level. The third structural dimension is complexity, and this is the bulky interconnected aspects of an organization (Ford & [Slocum, 1977, 564-575). All these factors influence the functionality of employees, which directly affect the output of the organization.

2.3.4 Organizational culture

An organization's culture consists of a combination of its frontiers past and current leaders, history and crisis. Culture is difficult to alter, since it is as a result of long-held information and formal systems, traditions, customs and rules that represent the self-image and shared expectations of the organization. Established rites, routines and a set way of doing things influence a company's norms such as how a worker can be in good standing and how a worker can respond appropriately for various circumstances. Leaders must understand the demographic

structure and cultures of the clients of the organization and strength in the marketplace to design products and services for particular populations (Salahuddin 2010, 1-4).

The culture of an organization influences the decision of leaders, since they are basically bound to follow the principles they inherited. However, it is their duty to periodically review thye decisive measures taken by past leaders to solve specific problems. According to John & Chattopadhyay (2015, 1-5), for the performance of employees and leaders to improve, there is need for the recognition of the organizational structure. They further stressed that simplification of organizational culture, alignment and modernization of the organization's concept will help improve the performance of the leaders and employees, thereby advancing the values of the organization. The human resources section of the organization should be restructured to reflect the induction of new personnel that truly reflect the present need of the organization in a changing environment.

2.3.5 Employees' diversity

Since the organization hires employees of diverse upbringing and makeup, the diversity of the subordinates tends to pose a threat to the leader of the organization. A company reasonably employs people of different cultures , gender, ages and races. Leaders must react to this diversity with a vision for their staff and by developing a multi-cultural approach to their work. According to Mooney (2018), the style of management that is most compatible with a diverse set of workers include a participatory method in which the leader works closely with employees to help them assimilate and succeed. Mooney (2019) also stressed that another successful style that works with individuals of different backgrounds is servant leadership, where the manager dedicates his efforts to providing the employees with everything they need so that in principle, these workers mature and pass along the servant attitude to other employees, and to their customers.

Employee's diversity has become an important feature in managing serves of employees. A leader is bound to gather different employees from diverse educational background different cultural locales and different work experience. Managing individual differences of the workforce can be very tasking and complicating for a leader, and if not properly managed can limit the performance and productivity of the firm. However, Qasim (2017, 1-4) opined that if employees'' diversity is well managed by the management, it can be an added strength to the workforce. The diversity of the employees can be harnessed by allowing the employees display their individual arsenal of positive experience such as skill transfer, decision-making abilities, creativity and motivation, while submitting to the principles of the leadership style in place.

2.4 Leadership Styles and Performance

In a simple term, a leader is anyone assigned to pilot the affairs of a team. In the quest to achieve an organization's goals, leadership style is an important aspect in the field of organizational behavior. Leadership process involves the use of non-coercive influence to shape a group or organizational goals, ignite behavior towards achieving the firm's objectives as well as define the group's culture. According to Ukaidi (2016, 25-34), leadership is the process of influencing people and providing an enabling environment for them to achieve a team or organizational goals and objectives. Also, Fry (2003, 693-727) defined leadership as the use of leading strategy to offer inspiring motives, and to enhance the staff's potentials for growth and development. Furthermore, Mitonga-Monga et al. (2012, 5389-5398) maintained that leadership is the pattern associated with managerial behavior, which is designed to integrate the organization the organization or personnel interest and effects for achieving particular objectives.

From the above reviews, it is evident that leadership occurs when one individual influences others to perform optimally and voluntarily above the average requirement of their work. Output of the organization is dependent on the leadership style adopted. A leader's enthusiasm, willingness, commitment and selfless act is done in a peculiar manner in order to bring forth increase in the profit margin of the organization, productivity, performance and effectiveness. Mgbeze (2014) conducted a research on the impact of leadership style on organizational performance, and concluded that a strong relationship exists between the adopted style of leadership and the organizational performance. According to Ukaidi (2016, 25-34), leadership style should be dependent on the tasks and the people being led, the environment and the leader's initiative. Even as leadership is a process engaged in by certain individuals, people are still needed to form subordinates who by their willingness are influenced by the leader. Hence, leader-subordinate coherent relationship brings forth organizational effectiveness.

Execution of collaborated effort depends on the leader's capabilities as well as managing the aftermath of an execution, be it positive or negative. A leader must explore the potentials of the subordinates using appropriate means as well as taking advantage of it. An excellent leader does not only inspire the subordinates' potentials to enhance efficiency, but also meets the requirements in the process of achieving organizational goals (Obiwuru et al., 2011, 100-111; Lee & Chuang, 2009).

2.5 Concept of Organizational Performance

According to Venkataraman 91997, 119-138), organizational performance is a sign of the capacity of a company to effectively achieve independent goals. The level of productivity of employees is one of the elements that are assessable to employee performance. The methods of evaluating organizational performance include quality, quantity and knowledge or creativity of the individuals towards the accomplished work that is done in relation to the responsibility assigned during a specific period of time (Wong & Wong, 2007, 361-381). In other words, some standard parameters must be relied upon during assessment.

Organizational performance enables an enterprise to achieve such objectives as high profits, market share and product quality in relation to other enterprises in the same industry. It is however a reflection of productivity of employees in an organization which is measured in terms of profit, revenue growth development and expansion (Obiwuru et al 2011, 100-111). According to Muecke 92005, 433-439), there are different factors that affect employees'' performance and these include job stress, motivation and communication.

2.5.1 Job stress

French (1975) opined that job stress is produced when one cannot properly coordinate available resources and job demands with personal abilities, and further described that job stress is gotten from a situation of a workplace environment that poses a threat to the employees (Noor, 2017). As a result of job stress, some employees may be unable to meet up given targets, since some companies demand a certain level of input. It further results to a to a scenario where demand exceeds the capacity of an individual which invariably fails to satisfy the top management. According to Mizuno, Yamada, Ishi, & Tanaka (2006, 167-170), job stress has been known universally as a social problem that has a combination of factors that disrupt the workers physically and psychologically, and further affect their health as a whole.

Conway, Companini, Satori, Dotti & Costa (2008, 630-639) stressed that an amount of pressure can bring about an increase in personnel's performance, while too much pressure leads

to mental and physical challenges. Job stress could arise from aspects such as environmental factors, organizational factors (leaders) and individual factors (employees). The probability of stress affecting an employee's effectiveness Is high, as each employee is exposed to some extent of stressors both in the workplace and in their personal life, which definitely affect work performance and productivity.

2.5.2 Motivation

Motivation is simply the willingness and desire to perform an action which is stipulated by the activity, or ability to satisfy an identified need. Motivation is being widely observed in all sectors of industries today, irrespective of the size and location. Leaders and managers have realized that the action of motivating their employees is decisive in the quest to achieve and realize organizational goals effectively. The motivated employees in the long run exhibit the traits of self-satisfaction, self-fulfillment and commitment that are needed to produce better quality and quantity of work, and faithfully observe the organizational policies which relatively materialize efficiencies, competitive advantage and reputation of the firm. Motivation enlarges the job involvement of employees by making the work more valuable and interesting, as well as keeps the employees more productive and responsive to organizational calls (Mizuno et al. 2006, 167-170).

Berman, Bowman, West & Watt (2015) opined that motivation is one of the essential factors for the achievement of employees, and ultimately the organizational targets and goals. Ololube (2006, 1-19) identified that motivation to work, whether intrinsic or extrinsic, is very essential in the lives of workers because it forms the fundamental reason for working in life. It conforms to the complex needs and zeal which provides the energy for employees to perform a particular task. In addition, motivation serves as an important component of business operations, whereby high motivation coincides with job performance, which enhances performance and productivity.

2.5.3 Communication

According to Nobo, Nwankwo & Okonkwo (2015, 131-148), communication is the impartation of ideas or thoughts, and making oneself understood by others. It is simply the process by which one party (sender) transmits information or message to another (receiver). With effective communication, a firm is able to have a great coordination among the teams and units in an organization. Meanwhile, the absence of it results to problems in managing business operations, or judgmentally causes the damage between individuals in a team. People who are involved in communication processes need to possess both basic skills and abilities needed for effective communication otherwise the information could be misunderstood. Also, effective information depends on the facilities available in an organization and the actions of leaders to ensure acceptability of information in order to have an accurate delivery of it (Mangal & Mangal, 2009).

Communication enhances easy transition of modules, missions and orders between the management levels in an organization. The effectiveness of the employee-leader relationship is determined by how well the information passed is understood and interpreted by the target employees. Shonubi & Akintaro (2006, 1904-1014) opined is understood and interpreted by the target employees. Shonubi & Akintaro (2006, 1904-1914) opined that communication breach between managers, employees and customers leads to futile efforts and unachieved visions. Hence, to remain profitable and competitive in the contemporary challenging world, all factors of production which include materials, machines and personnel, need to be carefully managed.

Mangal & Mangal (2009) hinted that amongst the factors of production, personnel constitute the biggest challenge because their skills, talents, thoughts and emotions must be harnessed to correlate with the vision of the organization.

2.6 Leadership Styles and Employee Performance

According to the Ukaidi (2006, 25-34), leadership style and systemic behavior shifted away from the characteristics of the leader to the style the leader adopted. According to Rowe (2001, 81-94), records from the style approach recommend that leaders who are devoted to democratic or participatory leadership style seem more successful, compared to managers that adopt autocratic or laissez-faire leadership style of management. Complementing Rowe (2001, 81-94), Yukl (2012) opined participatory leadership is the best style of leadership in managing an organizational system of any type, and maintained that people react favorably to it in organizations by increased productivity, lower unit cost, good morale and improved labor management relation. However, Yukl (2012) hinted that the worst style of leadership is autocratic or authoritative leadership style which gives rise to high labor management conflicts.

There are different reasons why there should be relationship between leadership style and organizational performance. Today's intensive and dynamic markets characterize innovation-based competition, price-performance rivalry, decreasing returns and the creative destruction of existing competencies (Venkataraman 1997, 119-138). Several studies have suggested that effective behaviors can facilitate the improvement of performance when organizations face these new challenges (McGrath & MacMillan 2000; Teece, Pissano & Shuen 1997, 509-533). Reviewing the effects of leadership on performance is paramount because leadership is viewed by some scholars as one of the key driving force for improving a firm's performance and productivity. According to Avolio (1999) and Rowe (2001, 81-94), effective leadership is seen as a major source of management development and sustained competitive advantage for organizational performance improvement (Obiwuru et al. 2011, 100-111).

Zhu, Chew & Spangler (2005, 39-52) opined that transactional leadership assists firms to actualize their objectives more efficiently by relating job performance to valued rewards and by guaranteeing that employees have the resources needed to get the job done. McShane & Von-Glinow 92001) stressed that visionary leaders create a strategic insight of some future states, communicate that vision through framing and use of metaphor, model the vision by cting consistently, and build commitment towards the vision (Obiwuru et al. 2001, 100-111). Zhu et al. (2005, 39-52) recommended that visionary leadership will result in high levels of cohesion, commitment, trust, motivation, and hence performance in the new organizational environments.

Mehra, Smith, Dixon & Robertson (2006, 232-245) argued that when some organizations seek efficient ways to enable them outperform others, a longstanding approach is to focus on the effects of leadership (Obiwuru et al. 2001, 100=111). According to Obiwuru et al. (2001, 100-111), team leaders are believed to play a pivotal role in shaping collective norms, helping teams cope with their environments, and coordinating collective actions. The leader-centered perspective provides valuable insights into the relationship between leadership and team performance (Guzzo & Dickson, 1996, 307-338). Several studies have explored the strategic role of leadership to investigate how to employ leadership paradigms and use leadership behavior to improve organizational performance (Judge, Bono, Ilies & Gerhardt 2002, 765-780; Judge & Piccolo, 2004, 755-768; Yukl 2012).

Purcell, Kinnie, Hutchinson, Rayton & Swart (2003) opined that it is because intangible assets such as culture, skill, competence, motivation and leadership styles are seen appreciating as a major source of strength and zeal in those firms that can combine processes, people and

organizational performance. Prior studies revealed the expectations that leadership paradigms have significant effects on staff satisfaction, financial performance and customer satisfaction. A research by House & Aditya (1997, 409-473) criticized leadership studies for focusing extremely on leader-follower relationship to the exclusion of several other duties leaders perform, and to the segregation of environmental and organizational variables that are vital to mediate the leadership-performance relationship. The study also revealed that the results, depending on the level of analysis are other problems of existing research on leadership.

House & Aditya (1997, 409-473) differentiated between micro-level research that focuses on the leader in relation to the subordinates and immediate superiors, and macro-level research that focuses on the total organization and its environment (Obiwuru et al 2011, 100-111). Tarabishy, Solomon, Fernald & Sashkin (2005, 20-29) also recommended that leaders and their leadership styles influence both their subordinates and organizational outcomes. Jing & Avery 92008, 67-78) carried out a study on the missing liks in understanding the relationship between leadership and organizational performance, they concluded that despite a hypothesized leadership performance relationship suggested by some researchers, current findings are inconclusive and difficult to interpret.

3.0 Theoretical Framework

Many theories have been formulated and designed on leadership style, by other great scholars and academicians. These theories include the great man theory, trait theory and contingency theory amongst others. The three theories above will underpin this study.

Great man theory proposes that the aptitude for leadership is inborn and inherited. According to this theory, it is either you are born naturally as a leader or you are not. The term ‘great man’ was adopted because it was thought that leadership was majorly for males, particularly in the military. The great man theory of leadership became well known in the 18th century. The legends behind some of the world’s most famous leaders such as Mahatma Gandhi, Abraham Licoln, Alexander the Great and Julius Caesar helped contribute to the conception that great leaders are given birth to and not made. Historian Thomas Carlyle also had a key sway on this theory of leadership at one point, stating that the history of the world is but the biography of great men. He stressed that efficient and productive leaders are those with inspiration and the right characters and features (Belmejdoub 2015, 1-29).

Over the years, there has been an unconvincing debate about whether leaders are born or made. Sarros & Batchatsky (1996) conducted a study about leadership by asking leaders of many organizations about their opinions on whether leaders are born or made (Belmejdoub, 2015, 1-29). Predictably, their findings revealed that majority of the senior leaders saw leaders as not being born because they are humble people, and certainly as not being made because they think there is more to life than circumstances; they saw leadership as a combination of both. They further revealed that there is an element of their psychology, but there is also an element of context, or of circumstance within leadership.

According to Cherry (2020), one of the major problems with the great man theory of leadership is that not all people who possess the so-called natural leadership qualities actually become great leaders. If leadership was merely an inherited quality, then all people who inherited the necessary traits would essentially find themselves in leadership roles. Cherry (2020) further stressed that research has instead found that leadership is a surprisingly complex subject, and that numerous factors influence how successful a particular leader may or may not be. Characteristics of the group, the leader in charge and the situation or environment all interact to decide what sort of leadership is needed, and the performance and productivity of this

leadership.

Trait approach theory of leadership is one of the earliest theories of leadership. It focuses on the on the personal attributes of leaders, which comprise physical and personality characteristics, competencies and values. It views leadership mainly from the perspective of the individual leader. Basis of this approach is the assumption that traits produce patterns of behavior that are coherent amidst the situations. Therefore, leadership traits are considered to be embedded characteristics that people are born with and that remain relatively stable over time (Mumford, Zaccaro, Handing, Fleishman & Reiter-Palmon, 1993, 1-135).

Prior trait scholars studied the personality attributes that they believed were related to leadership effectiveness, an interest on researching exceptional historical figures. According to Fleenor (2011, 830-832), early researchers viewed leadership as a unidimensional personality trait that could be reliably measured and was distributed normally throughout the population that is an individual difference variable. Many of the early studies on the trait approach focused on the systematic investigation of the significant differences between leaders and followers. It assumes that individuals in higher-level positions possess more leadership traits than those in lower-level positions. To further buttress the fact, a large number of studies were conducted in an attempt to develop reliable and valid measures of leadership traits.

Today, many books on leadership continue the tradition of providing lists of traits that are thought to be fundamental to effective leadership. The simple idea remains that if an individual processes such traits, they will be successful leaders in any situation. Gardner (1989, 58) published a study of a large number of leaders and concluded that there are some attributes that appear to make a leader successful in any situation (Fleenor 2011, 830-832). These traits included strength and stamina, cleverness, accepting responsibility, proficiency, having knowledge about the subordinates' needs, adequate interrelation skills, zeal for achievement, motivating people, valor, conviction, determination, boldness and adaptability. One of the criticisms of the list is that the attributes typically associated with successful leaders are often perceived as 'male' traits.

Contingency theory centers on adapting situational variables to be better fit into a leader's style. Contingency theorists agree that leadership theories must take into consideration the situation in which leaders operate. For instance, Fred Fiedler's contingency model assumes that a leader's preferred style is effectively set and suggests adapting situational elements to achieve a better outcomes. Tested through a variety of field research, the model's basic principle according to Mitchell, Bigdan, Oncken & Fiedler (1970, 253-267) is that the performance of interacting groups is contingent upon the interaction of leadership styles and the favorability of the situation for the leader.

According to Fiedler (1964, 149-190) who proposed contingency theory, a person would be appropriate for certain situations that a group might find itself in. For every demanding scenario, the group would go and inquire a leader to fit. The main limitation in this theory is that people possess certain personality aspects and there are different situations. Sarros & Butchatsky (1996) reported that a person does not necessarily become productive later because he had leadership qualities (Belmejdoub 2015, 1-29). They linked the fact to certain circumstances, some people with leadership qualities may never be given the right circumstances. So, they think life is rather a case of luck. Another concern with the approach is that the situation and people will acclimatize and people are not necessarily a rigid personality nor is the situation itself rigid and unchanging, which makes it opened to psychological inquiry. So, once the theory has been widely applied in practice, there seems to be the idea in veracity, that people do adapt to the situations they find themselves in.

3.0 Methodology

The study employed qualitative case study design to collect and analyze the data. It involved in-depth interviews (one-on-one interviews) in order to fully understand the kind of leadership style practiced in the selected manufacturing firms in Nigeria. The approach has some promising directions for organizational productivity and performance. The employees of the organizations including the Executive Directors formed the research respondents of the study.

The study was conducted using both primary and secondary sources of data. Interviews formed the basis for the primary sources of data. A semi-structural interview guide was designed for the respondents. The employees of the organizations were put into groups according to their function or departments at the organization. Focus group discussions were then held with the employees and management of the organization.

Data collected with the semi-structured interview were imported into Statistical Package for Social Sciences (SPSS) for analysis. The data was presented in a manner that allowed for easy analysis and testing using SPSS. Again, all the focus group discussions were audio-recorded with the respondents' permission. These audio tapes were transcribed verbatim and added to other field notes and analyzed manually using hand coding and highlighter pens to color important texts. Themes as identified were then categorized into major themes with sub-themes for each of the major themes. As Maxwell (2005) has advised, this is a very useful approach on qualitative data analysis as it provides great opportunities for researchers to carefully organize volumes of qualitative data into insightful findings (Owusu-Sekyere et al., 2018).

4. Analysis and Discussion of Results

This section focuses on the presentation of data gathered through the questionnaire and interviews, and analysis of the results obtained. The data are presented using tables and figures, and Microsoft Excel was extensively employed for the graphical presentation.

Table 4.1: Sex of respondents

Sex	Number of Respondents	Percentage (%)
Male	26	74
Female	9	26
Total	35	100

Table 1 above shows that 26 respondents representing 74% of the sample size are male, while the remaining 9 respondents representing 26% are female.

Table 4.2: Age of Respondents

Age	Number of Respondents	Percentage (%)
Below 20 years	6	17
21 -3 0 years	18	51
31 – 40 years	8	23
41 years and above	3	9
Total	35	100

Table 2 above indicates that 6 respondents representing 17% of the sample size are 20 years or below, 19 respondents representing 51% are between 21 and 30 years, 8 respondents representing 23% are between 31 and 40 years, while the remaining 3 respondents representing 9% are 41 years and above.

Table 3: Length of employment of respondents

Length of Employment	Number of Respondents	Percentage (%)
Less than 2 years	8	23
2 -5 years	19	54
6 – 10 years	6	17
11 years and above	2	6
Total	35	100

Table 3 above displays that 8 respondents representing 23% of the sample size have been employed for less than 2 years, 19 respondents representing 54% have been employed between 2 and 5 years, 6 respondents representing 17% have employed between 8 and 10 years, while the remaining 2 respondents representing 6% have been employed in the company for 11 years and above.

Table 4: 4: Position occupied by respondents

Position	Number of Respondents	Percentage
Manager	2	6
Supervisor	4	11
Secretary/Receptionist	3	9
Factory worker	18	51
Others	8	23
Total	35	100

Table 4 above points out that 2 respondents representing 6% of the sample size are managers in the selected manufacturing firms , 4 respondents representing 11% are supervisors, 3 respondents representing 9% are secretaries /receptionists, 18 respondents representing 51% are factory workers, while the remaining 8 respondents representing 23% occupy other positions in these firms.

For the purpose of this study, the questionnaire also contained two open-ended research questions that were intended to obtain freewill answers and personal thoughts from the respondents. However, 15 out of the 35 respondents did not provide answers to these research questions as they were left blank. The remaining 20 respondents that have provided answers to the questions are numbered A to T, of which respondents A to O are males, while respondents P to T are females.

For the most preferred leadership trait, respondents A, Q, R and S went for intelligence. Respondents B, C and T stated that competence is their most preferred leadership trait, with respondent B adding that the success of any organization depends on how competent the leader is. Respondents D and E opted for leader's decision-making ability, respondent I went for ability to inspire others, and respondents J opted for commitment. Furthermore, respondent K opted for good communication skills, respondent L opted for accountability, respondent M went for delegation ability, respondent N went for creativity and innovation, respondent O stated that humility is the most preferred leadership trait, while respondent P stated that the most preferred leadership trait is transparency.

For the least preferred leadership trait on the other hand, respondents A, B, J, R and S went for self-confidence, with respondent A stating that an excess of this trait can lead to arrogance. Respondents C, D, K, L and M opted for extroversion, while respondents E and O stated that dominance is their least preferred leadership trait, with respondent E adding that when

dominance is not well handled, it can lead to arrogance which will eventually limit the productivity of the organization. Furthermore, respondents F and P went for humility, respondent G went for delegation ability, respondent H opted for supervising ability, while respondents 1, N, Q and T stated that their least preferred leadership trait is introversion.

The results of this study showed that it is appropriate for leaders to inspire their subordinates, as well as stimulate their intellect. A good leader is one who can be looked up to, and it is the responsibility of managers to inspire their subordinates and massively harness their intellectual capacity. This leads to a quality leader-subordinate relationship, which eventually improves performance of the employees, thereby increasing productivity and firm performance.

The results of the empirical research also indicated that it is proper for a leader to use rewards and punishments to motivate followers. Motivation is a valid means of inciting the intellectual and psychological capacity of employees. Rewards through incentives like increase in pay, bonuses, paid trips and awards, help motivate them to perform better, so as to avoid the repetition of such punishments which may include deduction from salary, lack of bonuses and lack of promotion.

5. Conclusion and Recommendations

To effectively and successfully manage the affairs of an organization, leadership is a determinant factor. The success or failure of an organization depends largely on the style of leadership being adopted in the organization. Under the right leadership style, employees are ready to go the extra mile in contributing their best to the growth and sustainability of the organization, whereas under the wrong leadership style, they lack the zeal and motivation to contribute the best of their quota to the organization, and invariably, a low output is experienced.

Leadership skill to a great extent is the bedrock of any business or organization. Therefore, only people who can manage other people of different races, who are highly creative and innovative, and can successfully salvage dire situations in case of emergencies, are worthy to be called leaders. In this vein, being a leader is personal, because it emerges from individual's personal qualities and actions. However, to successfully lead an organization which is result-oriented, the actions of the employees must also be put into consideration. Absolute scrutiny of personnel's traits will enable the leaders to make informed decisions on the type of leadership style to be adopted, so as to yield the desired results that will enhance the growth and sustainability of the organization.

The studies carried out by Wang et al. (2011, 223-270); Jyoti & Bhau (2015, 1-13); Sofi & Devannadhen (2015, 31-45) revealed that transformational leadership style has direct positive impact on organizational performance. A study conducted by Longe (2014, 68-83) showed that transactional leadership style positively impacts organizational performance. Furthermore, Iqbal et al. (2015, 1-6) conducted a research on the effect of leadership style on employee performance and concluded that autocratic leadership style enhances organizational conflicts which negatively impact the overall performance of the organization. Also, the studies carried out by Elenkov (2000, 467-480); Bhargavi & Yaseen (2016, 87-117) indicated that democratic leadership style has direct impact on organizational performance. However, Yukl (2012) hinted that the worst style of leadership is autocratic leadership style which gives rise to high labor management conflicts.

From the results of the empirical research of this study, it can be concluded that leadership style has both positive and negative impacts on organizational performance. The type of leadership style adopted by an organization directly influences the performance of the

employees, which directly relates to the profitability and productivity of the organization. Organizations will effectively function when management adopt competent and proper leadership style. Hence, it is paramount hat harmony and synergy is created between management, employees and the work environment.

A major quality of a good leader is the ability to think fast and be creative, especially in non-routine situations as well as influencing others. The ability to sustain these qualities is what makes the difference between an effective and an ineffective leader. However, instead of leaders to focus on a single style of leadership in all situations, they can differ their styles of operation depending on three factors: leader factor, subordinate factor and situation factor. The effectiveness of a leader is also measured by their ability to effectively manage the forces surrounding them, and by how well they are able to manage both human and material resources in the process of attaining organizational goals.

For the purpose of this study, it is hereby recommended that the leaders of the selected manufacturing firms and indeed others should adopt a good management style that can accommodate all subordinates, irrespective of their personal and individual differences. This is because, leaders do not only manage the scarce resources of the organization, but also the people underneath them. It is recommended that the democratic style should be adopted, rather than the autocratic leadership style. This is to ensure that the employees are well carried along and that they have a sense of belonging and responsibility to the organization. It is also recommended that the communication channel between the management and the employees should always be in harmony. Information gap between the upper, middle and lower management should be avoided at all costs, so as to ensure coherency and synergy amongst the hierarchy of the firms.

In addition, it is recommended that leaders should devise effective ways of motivating subordinates. Motivation goes a long way in influencing the morale and dedication of the employees, which directly influence the performance and productivity of the firm. Positive work environment should be created in a bid to motivate employees, and certain incentives should be given when benchmarks are hit. This not only encourages employees to give their best, but also creates a sense of belonging. Leaders should also deploy discipline in the right proportion. An executive order can be rendered impotent when discipline is absent in the organization. The workforce should therefore be bound together by discipline, in order to be able to achieve the desired results at the appropriate time.

It is further recommended that leaders should consistently engage the employees in result-oriented training. On-the-job training should be done periodically to keep the workforce in its best position, and to maintain optimum performance. Special professional sessions such as workshops and seminars should also be organized for the workforce, so as to maintain excellence in productivity. Also, leaders should ensure that only employees that are qualified for a particular job are entrusted with it. They should ensure that sentiment and favoritism does not cloud their sense of judgement while assigning relative duties to subordinates.

References

Avolio, B. (1999). Full Leadership Development: Building the Vital Forces in Organizations. Thousand Oaks, California: SAGE Publications.

Bass, B. (1985). Leadership and Performance: Beyond Expectations. New York: The Free Press.

Bass, B. (1990). Bass and Stogdill's Handbook of Leadership: Theory , Research and Managerial Applications, 3rd Edition, New York: The Free Press.

Bass, B. & Avolio, B. (1994). Improving Organizational Effectiveness Through

Transformational Leadership. Thousand Oaks: California: SAGE Publications.
Beardwell, J. & Thompson, A. (2017). Human Resource Management: A Contemporary Approach, 8th Edition,: Pearson Education Limited.
Berman, E., Bowman, J., West, J. and Watt, M. (2015). Human Resource Management in Public Service: Paradoxes, Processes and Problems, 5th Edition. Thousand Oaks, California: SAGE Publications.
Bhargavi, S. & Yaseen,, A. (2016). Leadership Styles and Organizational Performance. Strategic Management Quarterly, 4(1), 87-117. Available at http://smqnet.com/journal/smq/Vol 4 No 1 March 2016/5.pdf
Boehnke, K., Distefano, J. & Distefano, A. (2003). Transformational Leadership: An Examination of Cross-national Differences and Similarities Leadership and Organization Development Journal, 24(1), 5-15. Available at http://www.researchgate.net/publication/242355920. Transformational leadership. An examination of cross-national differences and similarities. Accessed 4 March 2019.
Choi, S. (2017). Democratic Leadership: The Lessons of Exemplary Models for Democratic Governance. International Journal of Leadership Studies, 2(3), 243-262. Available at http://www.regent.edu/acad/globalpublications/ijls/new/vol2iss3/choi/Choi Vol2Iss3.pdf. Accessed 11 September 2022.
Ebrahim, H. (2018). Impact of Leadership Styles on Job Satisfaction. Journal of Human Resource Management Research, 2018 (2018, 1-8). Available at https://ibilmapublishing .com/articles/HR/2018. Accessed 23 September 2022.
Elenkov, D. (2000). Effects of Leadership in Organizational Performance in Russian Companies. Journal of Business Research, 55(20002), 467-480. Available at https://kundoc.com/queue/pdf-effects -of-leadership-on-organizational-performance-in-russian-companies-html. Accessed 23 September 2022.
Fiedler, f. (1964). A Contingency Model of Leadership Effectiveness. Advances in Experimental Social Psychology, 1, 149-190. Available at https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/
Finch, C. (2019). External Factors Affecting Leadership. Available at; https://buzfluent.com/info-8583473-external-factors-affecting-leadership-html. Accessed 24 September 2022.
Fleenor, J. (2011). Trait Approach to Leadership. Encyclopedia and Organizational Psychology, 2006, SAGE Publications, 830-832.
Fry, L. (2003). Towards a Theory of Spiritual Leadership: The Leadership Quarterly, 14(2003), 693-727. Available at https://www.researchgate.net/publication/222827010. Towards a Theory of Spiritual Leadership. Accessed 23 September 2022.
Gardner, J. (1989). Leadership Attributes and Context, Sage Journals, 73(514), 58. Available at https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177019263658907351409. Accessed 26 September 2022.
Jyoti, J. & Bhau, S. (2015). Impact of Transformational Leadership on Job Performance: Mediating Role of Leader-member Exchange and Relational Identification. SAGE Open, 5(4), 1-13.
Mgbeze, V. (2014). Impact of Leadership Style on Organizational Performance: A Case Study of Nigerian Banks, Obafemi Awolowo University, Ile-Ife, Osun State, Nigeria, Master's Thesis.

THE EFFECTS OF STRATEGIC INTELLIGENCE ON COMPETITIVE ADVANTAGE IN THE NIGERIAN FOOD AND BEVERAGE MANAUFACTURING INDUSTRY

DR. CHUKWUEMEKA G. EME
Lecturer, Department of Business Administration, Faculty of Management Sciences, National Open University of Nigeria (NOUN), Jabi – Abuja

ABSTRACT
This study aimed to verify the effects of strategic intelligence on the competitive advantage in the Nigerian Food and Beverage Manufacturing Industry. To achieve the aims of the study, a descriptive analytical method was used. The study was conducted on a sample consisting of (231) managers in these companies. To measure strategic intelligence, a scale of five dimensions was used: foresight, system thinking, vision, motivation and partnership. To measure the competitive advantage, the researcher used a four-dimensional scale: quality, cost, flexibility and delivery. The study found that there were medium levels for all dimensions of strategic intelligence, while the levels of dimensions of competitive advantage were all high. It was also found that there was a significant effect of all dimensions of strategic intelligence except for system thinking and that there was a significant effect of strategic intelligence on all dimensions of competitive advantage. The food and beverage manufacturing industry has been used as an example for demonstrating the given model's capabilities to create standard algorithms for making anticipatory decisions in difficult situations. This paper also defines the role of strategic intelligence in the era of digital transformations and the transformation of organizations into self-learning ones.
Key Words: Strategic intelligence, Competitive advantage, Food and Beverage Manufacturing Industry, Nigeria.

1. INTRODUCTION
There is a lot of literature that talked about competitive advantage, and how organizations work and focus on factors, whether internal or external in order to reach a higher level of competitors in the same field, where some view that competitive advantage is a powerful stimulus that drives organizations to do more.

From the continuous effort at all levels, there is the necessity to ensure the continuity of the market for the longest possible period, through achieving the desire of customers and achieving the goals of the organization (Kafi, 2017, 181). The meaning of competitive advantage dates back to the beginning of the eighties (1980s) in the last century, and many scholars believe that Porter is one of the first to have spoken and written on competitive matters, and his book ''Competitive Strategy'' published in (1985) is a major reference in this field (Al-Sarhan, 2005, 91).

The increased competition between organizations and different philosophies in how to deal with conditions and changes in the business environment at various levels globally and locally, the emergence of globalization and its impact on all organizations and ease of communication and great openness between peoples and countries until the world became like a single village, this is what forced the organizations to predict their future and follow scientific and administrative methods for adapting to developments and changes that occur in the internal and external environment of these organizations. At the same time, these organizations are looking for

human resources and capabilities that have sufficient flexibility to deal with these conditions and changes, and have the ability to envision the future and develop appropriate visions for them, all in order to achieve success and excellence in markets where competition has become stronger and remain in it for those who search about the competitive advantage.

The developments in the business environment as well as the accelerating changes have led the organizations to search for a competitive advantage, not in option for them, but a duty for them to survive, excel, continue, and reach the stage of excellence, and that they gain the loyalty of their customers as well as maintaining sustainability between competitors and the characteristics of the competitive advantage, which is represented in strategies that competitors do not apply, and it is difficult for others to imitate them, as well as to reduce costs in products, at the same time difficult to imitate or use another alternative. To achieve a competitive advantage there must be something of strategic intelligence to reach the competitive advantage that most organizations seek to reach at a time when competition among organizations is intensifying on a large scale, and competition is increasing day by day (Mnjula, 2014).

Strategic intelligence is a form of development in management thought, in which all organizations work to achieve their goals and reach their targeted objectives through obtaining appropriate information in order to use them to predict the future, an integrated view of the administrative system, innovation of new ideas, and creativity in business to counter changes in the surrounding environment and adapt to it. All institutions try to maintain the competitive position they seek through a set of procedures and changes that they undertake in order to achieve the goals of the organization.

1.1 Study Problem

It is not clear to anyone the intensity of competition between business organization in order to obtain a greater market share and reach a greater number of clients, as the organizations seek to focus on excellence and to continue to achieve progress not only at the local level but also at the global level at other times. Achieving competitive advantage, survival and success, and achieving current and future goals alike, had to be practical solutions to face this great momentum in intense competition and expansion of markets and the spread of modern means and the abundance of local and global economic crisis, all of which pushed this direction and research, studies and ideas emerged on the side of strategic intelligence in order to use it to find solutions and access to excellence, development and continuity of organizations.

1.2 Study Objectives

The main objective of this study is to investigate the effects of strategic intelligence on competitive advantage in the Nigerian Food and Beverage industry. The specific objectives were:

i) To identify the relative importance of strategic intelligence in Food and beverage manufacturing industry in Nigeria.

ii) To highlight the relative importance of the level of competitive advantage in the Food and beverage manufacturing industry in Nigeria.

iii) To evaluate the effects of strategic intelligence on the competitive advantage in the Food and beverage manufacturing industry in Nigeria.

2. THEORETICAL BACKGROUND

2.1 BASIC CONCEPTS, AND TERMINOLOGY

Strategic intelligence is a systematic and continuous process of exploring trends and the market environment with the use of powerful analytical systems that ensure the generation of knowledge and digital tools for making long-term decisions and the organization's preparedness for the unpredictable challenges of the future. With regard to management, strategic intelligence performs the function of detecting, identifying, and solving problems that go beyond the past experience, and which the organization is going to face in the future. Strategic intelligence is a form of development in management thought, in which all organizations work to achieve their goals and reach their targeted objetives through obtaining appropriate information in order to use them to predict the future, an integrated view of the administrative system, innovation of new ideas, and creativity in business to counter changes in the surrounding environment and adapt to it.

All institutions or organizations try to maintain the competitive position they seek through a set of procedures and changes that they undertake in order to achieve the goals of the organization from reaching the competitive advantage that they seek as well as achieving profits and this requires continuous improvement in all production and service operation and the stages it goes through from the design of the product to the stage of distribution (Al-Jubouri, 2008, 254).

The concept of strategic intelligence lies in an attempt of individuals to control problem solving in the environment in which the organization works and the ability of individuals to use their experience in order to create concepts in theory and practice in order to define the relationship, whether it is apparent or hidden (Al-Ghanudi, 2017). Others argue that strategic intelligence relates to focusing on products today and in the near future, in order to provide information to stakeholders in the planning process to take them into account with regard to existing products to make appropriate change and take these changes into the organization's strategies (Duczynski & Knight, 2016).

Intelligence is defined as the sum of the mental abilities that an individual uses to confront new situations, or the ability to understand and perceive the truth, and it can also be defined as the behaviour through which problems are solved and adaptation to the surrounding environment, and the ability to form and develop mental concepts (Rouach & Santi, 2001). Strategic intelligence is more than a process that aims to search for information, then analyse it in order to be available to everyone at the time they needs it, in order to make the appropriate decision for the situation in which this decision must be made at the right time (Clar, Acheson, Haimer, Saunter, Buczek & Allan, 2008, 173).

Strategic intelligence is what the organization needs to know in the current business environment in order to determine what operations and procedures it should do today and what changes it wants to make in the future (Tham & Kim, 2002, 2). Strategic intelligence is also seen as consisting of four basic elements that are knowledge management, as well as foresight, in addition to reference comparison, and finally economic intelligence and all of the above contribute to strategic decision-making in organizations working in the business sector (Muhammad, Al-Tayyib & Abdali, 2012). Strategic intelligence is seen as the ability to form an image in which to view the environment in which the organization operates remotely, by looking at the information and data available on this environment (Alnoukari & Hanano, 2017). Hollensen (2010, 142) believes that the strategic intelligence directs the organization towards looking to the future, whether it is far or near, and helps it in making important decisions that are based on knowledge, an at the same time is concerned with the future conditions of the

organization (Knosch, 2015).

One of the main reasons behind the importance of organizational transformation is to increase the intelligence of the organization.Organizational intelligence refers to a set of rules with added value derived from the intangible assets of the organization, which together represent the knowledge that consists of employees, management, stakeholders, and clients.

To increase the intelligence in the organization, you must first build a hierarchy of components that contribute to the intelligence in the organization. Benefits that can be obtained from the organization's use of intangible assets, which have been mentioned previously, show a new type of intelligence that helps the organization in the process of organizational transformation of the continuity of its presence within the markets, where intelligence can be classified according to the view (Liebowitz (2016, 13) into several types with the emergence of developments in modern technology and the use of technologies to do business instead of the human element. For the purpose of conducting this study, the five main dimensions were approved namely:

- **Foresight:** Foresight is an important component of strategic intelligence as it shows the ability of senior management to see what others do not see (Maccoby, Michael, Scudder & Tim, 2011). The presence of technology is a major addition in the formation of strategic intelligence among organizations through the use of accurate information provided by modern technology, which thus serves the process of foresight (Rotolo, Rafols, Hopkins & Leydesdorff, 2017). The rapid change and significant development that is taking place urges organizations to work hard to develop the outlook process, and this requires changing the traditional methods of workers in this field as well as the need for continuous training for achievement (Palacios, 2018). The prospect for the future can be seen by having people in the organization from senior leadership with special ability and skill in the outlook process (David & Barnes, 2010). The prospecting process requires the ability to map what will happen in the future (Ravetz & Miles, 2016).
- **System Thinking:** Systematic thinking can be viewed by knowing the relationship between the internal and external entities of the organization and the nature of the relationships between them, and how they work towards creating a complete unity for the organization (Mohamed, Mohamed and Fadel, 2018). Some researchers argue that systematic thinking relates to the holistic view of the organization, by knowing the relationships and forces that relate to the production process (Al-Murshid, 2019). The process of systematic thinking is at present considered one of the secrets of the organization success regardless of the nature of their work, as it is based on grouping efforts and dividing them within the organization so that everyone works in an integrated, coordinated, efficient and effective manner Yousfi, 2019, 37). The competitiveness of the organization requires it to work between its departments and units in an organized and coordinated manner in order to reach its goals, and to achieve the maximum degree of competition (Alnoukari & Hanano, 2017). Organizations seeking success must link their internal components with each other in order to do business as required of them, and therefore must work in concert with each other (Qasim, 2018; Alnoukari &Hanano, 2017).
-
- **Vision:** The future vision indicates the perceptions and expectations of what the organization should be, and it represents the outlook for the future and the expectations that can be obtained in the long run (Ai-Ashkar, 2012, 67).

All organizations are working to reach the future that they seek to achieve their goals, and this requires setting a vision to reach them, because the vision is the image that is formed in the minds of the future that you want to reach for the organization (Wheelen & Hunger, 2012, 9). The vision is seen as the long term goal that the organization is heading towards and that is an image

of the organization in the future as it achieves competitive advantage and achieving its goals (Dess, Lumpkin, Eisner & Mcnamara, 2014). The vision can be seen as a way to urge the organization to pursue its goals through a process of motivating workers to make the utmost efforts to reach the desired goals (Qasim, 2018). There are those who say that the vision relates to the ability of senior management to look to the future, and how the organization will be in the future (Muhammad et al., 2018).

- **Motivation:** Motivation is based on motivating individuals and bringing them together on a specific goal in order to achieve the vision that the organization seeks to reach (Al-Nuaimi, 2008, 173). There is a strong relationship between the ability of workers to perform their duties within organization, than they have the flexibility to perform their tasks, their ability to perform more than one task at times, which can be entrusted to them, and the internal motivation that they have to accomplish these actions (Tuan, 2016). Managers move individuals within the organization through the process of motivation in order to achieve the organization's vision, by identifying what drives and encourages motivation among workers and which drives them to work and achieving the goals of the organization (Al-Hamiri and Abdul Mahdi, 2019). Some researchers believe that motivation differs from one person to another, so the leader must have the ability to distinguish between individuals and what drives them to work and give in order to achieve the vision that the organization seek to reach (Abuzaid, 2017). The task of pushing the workers to do their jobs to the fullest extent lies in the distribution of responsibilities to them, in addition to that the benefit is taken from the good relations between the workers (Al-Sheikhly and Obaid, 2015).
- **Partnership:** The partnership process will be through the organization's ability to forge alliance and strategic cooperation with other organizations (Sheikh and Mumir, 2016). Partnership represents the ability of a leader who has strategic intelligence to be able to establish strategic alliances, and to have a vision of partnership, alliance and integration with other organizations (Amran, 2015). A leader who can make partnerships and has the ability to benefit from it whether at the organizational level or at the external level through alliances with other organizations, is a characteristic of the intelligence that the leader has (Baie, Ahmadi, Shariff, Malafeh & Baee, 2017). Through its strategic plan, organizations seek partnerships with organizations that work at the same field, or in businesses that have a relationship with other organizations (Shujahat, Huaaain, Javed, Malik, Thurassamy & Ali, 2017).
- The partnership process plays an important role in the organization's internal strategy in providing information from the organizations' workers (Walsh, 2017).

2.1 Competitive Advantage

The concept of competitive advantage is related to profitability as a long-term concept, that is, there is continuity in achieving profits, and the performance of the organization is above average in the industry to which it belongs, and this is sufficient to be evidence of its superiority and sustainability, therefore the concept of sustainability and excellence is always linked to long term, as for time, its indication of sustainability and competitive advantage, so if the organization seeks to maintain its position and multiply efforts to continue to excel and progress, it maintains its competitive advantage among organizations in the same sector (Al-Alaq, 2016, 257). Some writers believe that the progress and failure of some organizations depends on competition, and by setting the competitive strategies of the organization that lead it to dominate the market, as it works diligently to increase its market share (Clar et al., 2008, 175).

When developing the organization's strategic plan, the organization's strengths and weaknesses are studied and the external and internal environment is defined. During the development of the plan, a competitive advantage is established as a goal that the organization seeks to reach by implementing the strategy through the focus strategy, which is relied upon to achieve competitive advantage (Diderrich, 2019, 8).

Fain and Nair (2009) defines competitive advantage as a kind of distinction that gives the organization something of positive progress and distinction over workers in the same sector or in the same industry, and this does not mean continuity for a specific period but rather the continuation to an indefinite period of time and the goal of the organization is to continue and repeat the preservation. It must, and if the organization does not do so, it will be a major retreat for the organization and will not have any competitive advantage.

There are those who believe that the competitive advantage depends on the exploitation of resources through adopting rapid movement strategies through rapid learning and dealing with the rapid and lasting changes that take place in the environment in which the organization operates (Liu, 2013). Achieving competitive advantage is dependent on several important factors, one of which is the use of technology in its various forms. It helps the organization to analyse accurately and quickly communicate, in addition to linking it with the outside world in which it influences, deals with, and operates (Vivek, 2017, 199). From the point of view of Al-Ali (2009, 40), the basic idea of competitive advantage is based on the ability of the organization to fulfil the desires and needs that the customer seeks to obtain, or in another way the value that he tries and hopes to reach from the product, and this is what gives a competitive advantage to that organization on the other hand, and thus makes the customer returns to deal with this organization and not permanently.

Others believe that a competitive advantage can be defined as the organization's ability to work out strategies and create mechanisms that enable it to reach better positions compared to organizations, working in the same sector and to exercise the same actions and make them ahead (Haider, 2002, 8). There are those who explain the competitive advantage as a type of competence that the organization performs in order to distinguish them from other organizations, which leads to providing a new addition to customers in a way that leads to a difference from others or competing organizations in the same sector and this leads to access to excellence in these markets (Shafiq, 2010). For the purpose of conducting this study, four main dimensions were approved namely:

- **Quality:** Quality is one of the main factors that organizations use to confront competitors, through the process of choosing new ways to do business and using new communication methods, modern and advanced technologies, attracting people with expertise, and using modern methods such as advanced software and new methods in dealing with customers (Al-Awawdeh, 2019). There are those who see quality as a process of improvement and development in the capabilities of the organization, and the process of continuing and maintaining the achievement of the requirements of the beneficiary of the organization, and that at all stages of work and performance starting from knowing the needs of the beneficiaries and ending with knowing how satisfied they are with the products provided to them (Al-Hamidi, Salama & Kafy, 2016, 230). On the other hand, quality can also be seen as the state of satisfaction, which customers want to continuously reach (Robbins & Coulter, 2003, 128).
- **Cost:** Cost is an important factor in achieving competitive advantage for organizations as it always seeks to reduce costs to the extent that does not affect the nature of the product and the goal of its production (Aghajani, & London, 2012, 135). There are those who believe that organizations should work to reduce costs in order to obtain a competitive share in the market,

by reducing production costs, as well as marketing costs (Al-Tawil and Ismail, 2009, 12). Another concept of cost is the organization's ability to produce and markets products whose cost is lower than competitors, which increases the organization's market share (Morsi, 1998, 83). There are those who consider that costs are very important in determining the competitive advantage, but not at the expense of quality and in this case the cost and quality must be taken into consideration at the same time (Al-Zubi, 2014).

- **Flexibility:** flexibility is seen as the ability of the organization to respond to the desires and needs of customers through its ability to change the procedures and processes it has, as well as the commitment to achieve the desires and requests of customers by making changes that require and warrant to be made as well as providing the best products, whether goods or services, with appropriate quality and cost (Lami, 2008, 25). Others see that flexibility is based on the ability that the organization has to provide more than one product in a broad and large way, due to the large volume of customers who have different tastes and opinions as it works to meet these needs of these customers (Chase, Jacobes & Aqullano, 2004, 26).
- **Delivery:** time is very important to customers, as it is considered an important component of the competitive advantage that all organizations are trying to reach, so it is drawn into the strategic policies of organizations by reducing the time period from the customer's request to the delivery time, and that is as quickly as possible and that requires reducing the product's life cycle to the lowest degree possible while maintaining the characteristics of the product and its performance (Salaq, 2016, 286). In addition, it can be used to reduce storage operations and various production procedures to reduce the time period for delivery (Ibn Jarwa & Nur-Alden, 2017). Speed is very important in achieving the competitive advantage (Al-Ali, 2000, 51), and it is based on rapid work in carrying out the basic functions in the organization, such as working to improve and develop the product, and performing customer requests as quickly as possible, and after-sales service procedures (Jabreen, 2006, 37). There are those who see great importance to the factor of time, delivery and speed in production and delivery of the product to the markets before competitors, and this plays a very important role in achieving competitive advantage and affects the organization and its position in the market and achieving profitability (Al-Lami, 2008, 26).

3. Empirical Review

The study carried out by Al-Awawdeh (2009) in order to identify the impact of strategic information systems on competitive advantage found a positive effect of the elements of strategic information systems on the competitive advantage. As for Badri (2019), he tries to explain the role of a proposed strategy to activate the impact of organizational learning in achieving competitive advantage. The results of the study showed that there is an association between the proposed strategy to activate the role of organizational education and achieve competitive advantage, and that there is a complete weakness in achieving competitive advantage. Latif and Abd (2019) tries to get acquainted with the role of the logistics department in enhancing competitive advantage, but that there is a weakness in the information system within organizations, and the study demonstrated the existence of two logistic management divisions, namely administrative logistic, which is part of the supply chain, and production logistic related to the supply of raw materials to the company. Hamed and Kamel (2019) focused on knowing the impact of dynamic capabilities on competitive advantage. They came out with many results, the most important of which was the direct impact of the dynamic capabilities on competitive advantage. As for Al-Hunaity and Al-Aqeed (2019), their study sought to know the

effect of organizational structures on achieving competitive advantage. The results of the study indicated an effect of organizational structures on achieving competitive advantage. In another study conducted by Khazzal and

Dhiab (2019), to see the effect of green innovation on production and processes in innovation and sustainable competitive advantage. The company has achieved a competitive advantage by reducing production costs as well as by providing high-quality products that are competitive in the markets. Al-Zawawy (2018) sought to know the role of technological innovation in gaining sustainable competitive advantage. Its results have demonstrated a correlation between technological innovation and the acquisition of sustainable competitive advantage. As for Al-Mardini and Al-Mawsili (2017), they examined the effect of continuous improvement in the competitive advantage, and the elements of continuous improvement have had a major impact in achieving the competitive advantage. Ade, Akanbi and Tubosun (2017) were interested in knowing the impact of marketing intelligence on competitive advantage in the business sector. The results of the study showed a significant impact of marketing intelligence on the competitive advantage and the study also showed that information and data on competitors, opportunities, threats and risks from competitors, has a significant and positive impact in achieving the competitive advantage, and that this information may lead to achieving a better performance than competitors.
In another study by Erdizadeh, Salehzadeh and Esfahani (2017) to demonstrate the role of business intelligence and knowledge exchange and organizational innovation in gaining competitive advantage, the results of the study showed that business intelligence and knowledge exchange and organizational innovation have a positive and significant impact on competitive advantage through knowledge sharing and organizational innovation, and that knowledge sharing achieves a competitive advantage in a positive and significant way, and finally that of innovation. The study showed that business intelligence has a significant and positive impact on obtaining competitive advantage and preference among companies in the same field of competition.

4. Hypotheses

H1: There is no effect of strategic intelligence on competitive advantage in the Food and beverage manufacturing companies in Nigeria.
H2: There is no significant effect of strategic intelligence in quality in the Food and beverage manufacturing companies in Nigeria.
H3: There is no significant effect on costs in the Food and beverage manufacturing companies in Nigeria.
H4: There is no significant effect of strategic intelligence on flexibility in the Food and beverage manufacturing companies in Nigeria.
H5: There is no significant effect of strategic intelligence on delivery on the Food and beverage manufacturing companies in Nigeria.

5. Procedures

5.1 Sample

The population of this study is represented by the managers in the Nigerian Food and Beverage Manufacturing Companies, who number (736) managers. To collect the necessary data for the

study from the managers, the researcher selected the random, proportional sample from the managers in these companies, whose number was (254) managers. The questionnaire was distributed to them through direct visits to companies by the researcher. After completing the distribution process, (231) questionnaires valid for statistical analysis was retrieved.

5.2 **Measurement**

To measure the dimensions of the study, the researcher relied on the approved measures used in many previous studies that dealt with strategic intelligence and competitive advantage. To measure strategic intelligence (independent variable), five-dimensional scale was used: foresight, system thinking, vision, innovation and partnership, used in many previous studies (Maccoby, 2001; Purity, Ifeoma & Anigbogu, 2017). To measure the competitive advantage (dependent variable), the five-dimensional measures was utilized: cost, quality, innovation, flexibility and delivery that are widely used by researchers in previous studies (Ade, Akanbi & Tubosun, 2015; Eidizadeh, Salehzadeh & Esfahange. 2015; Liu, 2013).

The reliability test for the two variables of the study was through the reliability factor of Cronbach Alpha where it was found that all dimensions exceeded the (0.70) ratio accepted for statistical analysis purposes (Al-Najjar, Al-Najjar & Al-Zoubi, 2017, 109). Alpha coefficient ranged between (0.838 - 0.915) as shown in Table (1).

6. Statistical Analysis

Table (1) indicates the number of dimensions items for each variable on this study and reliability coefficients of these items, it's all greater than the statistically acceptable percentage (0.70) (Sekaren & Bougie, 2010). The highest value in mean was for cost items with this value (4.105) and the lowest value in mean was for Motivation items with this value (3.484).

Table 1: Descriptive statistics and reliability

Variables	**Items**	**Alpha**	**Mean**	**Std. Dev.**
Foresight	**5**	**0.872**	**3.527**	**0.941**
System Thinking	**5**	**0.907**	**3.648**	**1.104**
Vision	5	0.836	3.629	0.829
Motivation	5	0.897	3.484	0.795
Partnership	5	0.859	3.581	0.781
Quality	6	0.828	3.831	1.108
Cost	6	0.873	4.105	1.022
Flexibility	6	0.915	3.794	0.749
Delivery	6	0.855	3.846	0.667

H1: There is no significant effect of strategic intelligence on competitive advantage in the Nigerian Food and Beverage Manufacturing Companies

Table 2: Impact of strategic intelligence on competitive advantage

model	Dimensions	b	t	Sig.	r2	f	Sig.
1	Partnership	0.571	35.058	0.000	0.618	67.721	0.000
2	Partnership	0.491	32.947	0.000	0.684	54.937	0.000
	Foresight	0.463	29.004	0.000			
3	Partnership	0.418	26.227	0.000			
	Foresight	0.374	22.736	0.000	0.732	43.619	0.000
	Vision	0.347	18.592	0.000			

Table (2) indicates the results of the stepwise regression coefficient of the effect of strategic intelligence on competitive advantage. In the first model, it was found that partnership was the first dimension affecting the competitive advantage, where the value of t (0.618), and the value of f (67.721) and the level of significance (0.000), this means that partnership explained the ratio (61.8%) in the variation in the competitive advantage. In the second model, after entering the foresight with the partnership, the value of r (0.684), with the value of f (54.937) and with a significant level (0.000), this means that the partnership and foresight together explained a percentage (68.4%) in the variation in the competitive advantage. In the third model, after adding the vision for partnership and foresight, the value of r increased to (0.732) and the value of f (43.619) and at a significant level (0.000), meaning that the vision raised the effect on the competitive advantage to (73.2%). In the fourth model. After adding motivation, the value of r increased to (0.759), at the value of f (36.728), and at a significant level (0.000), meaning that the four dimensions were explained (75.9%) of the variance in the competitive advantage. While it is noted from the results of the analysis, there is no significant effect of system thinking on competitive advantage.

Table 3: Effect of strategic intelligence on quality

r2	b	f	Sig.
0294	0.372	83.562	0.000

Table (3) shows the results of a linear simple regression analysis for the effect of strategic intelligence on quality, it showed that there is a significant effect of strategic intelligence on quality, where the value of r2 reached (0.294), this means that strategic intelligence explains (29.4%) of the variance in quality, and the value of b (0.372), while the value of f (83.561) with a significant level (0,000). The results of regression analysis indicate to rejection of the second study hypothesis.

H3: There is no significant effect of strategic intelligence on cost in the Nigerian Food and Beverage Manufacturing Companies.

Table 4: Effect of strategic intelligence on cost

r2	b	f	Sig.
0.628	0.247	69.131	0.000

Table (4) indicates the results of a linear simple regression analysis for the effect of strategic intelligence on cost, where the value of r2 reached (0.628), this means that strategic intelligence explains (62.8%) of the variance in cost, and the value of b (0.247), while the value of (69.131)

with a significant level (0.000). The results of regression analysis indicate to reject the third study hypothesis.

H4: There is no significant effect of strategic intelligence on flexibility in the Nigerian Food and Beverage Manufacturing Companies.

Table 5: Effect of strategic intelligence on flexibility

r2	b	f	Sig.
0.842	0.431	91.629	0.000

Table (5) shows the results of a linear simple regression analysis for the effect of strategic intelligence on flexibility, where the value of r2 reached (0.842), and the value of b (0.431), while the value of f (91.629) with a significant level (0.000). The results of regression analysis indicate to reject the fourth study hypothesis.

H5: There is no significant effect of strategic intelligence on delivery in the Nigerian Food and Beverage Manufacturing Companies.

Table 6: Effect of strategic intelligence on delivery

r2	b	f	Sig.
0.176	0.190	51.742	0.000

Table (6) indicates the results of a linear simple regression analysis for the effect of strategic intelligence on delivery, where the value of r2 reached (0.176), and the value of b (0.190), while the value of f (51.742) with a significant level (0.000). The results of regression analysis indicate to reject the fifth study hypothesis.

7. Discussion

In this study, the researcher tried to test the effect of strategic intelligence on achieving the competitive advantage in the Nigerian Food and Beverage Manufacturing Companies. The results of the study indicated that there are medium levels of the strategic intelligence dimension of employees in these companies. The management of companies is unable to push its employees to provide more achievements to achieve its vision, and this may be due to the lack of incentives that they provide to them, which is reflected negatively on their weak thinking about the future of their companies, and the prediction of opportunities that the future can bring, and which is reflected negatively in their desire to think by developing long-term strategies. On the other hand, the results of the study indicated that the companies under study were distinguished by their competitive advantage, especially in the field of costs and quality, as they are able to provide products with low cost compared to competitors while maintaining the quality of their products. Companies benefit clearly from the application of global guidelines, in addition to applying a robust system for quality control, and they also use accurate accounting systems to control cost elements. The results of the study also indicated that there is a clear impact of the strategic intelligence dimension on companies achieving the competitive advantage except for the system thinking that did not have a significant effect on the competitive advantage. Strategic thinking receives the company, forecasting and anticipating opportunities building a clear vision for the company, persuading its employees, and making decisions consistent with this vision and using incentives to reward hard working employees, in addition to entering into

partnerships with companies in the same industry to take advantage of their scarce resources all of which helps companies reduce their product costs and use modern methods in delivery of their products and rapid response to the change in demand for their products.

8. Recommendations

Based on the findings from this study, the following recommendations were made:

1. The management of the Nigerian Food and Beverage Manufacturing companies needs to increase the motivation of its employees to increase the focus of their interest in thinking about the future of their organizations and not only to think about the completion of their daily work. Employees should be concerned with thinking about how to implement the organization's vision. This can be achieved by providing incentives based on their achievements and working on the basis of work teams in addition to using the flexible benefits system.
2. The management of these companies should encourage their employees to think about their future and anticipate the changes that will happen in the competitive environment and predict the future through exploring the current events to diagnose the opportunities that may appear in the future and prepare for their investment.
3. Corporate managements should increase their interest in entering into partnerships with companies working in the same industry to obtain scarce resources and increase their ability to face competitive conditions, as well as help them to face the crisis that they may face, as well as increase their ability to invest their resources.
4. Increase the awareness of employees in their companies by seeing them by clarifying them to see the employees in them, so that they can unify their efforts in addition to persuading employees to see the company to transform it into a practicable reality if the company's strategies are commensurate with the changes in the external environment, and there is harmony between management decisions and vision.

References

1) Abuzaid, A. (2017). Exploring the impact of strategic intelligence on entrepreneurial orientation: a practical study on Jordanian diversified financial services companies. International Management Review, 131 (1), 72 – 84.
2) Chase, Richard, B., Jacobes, F. (2004). Operations management for competitive advantage, (10th ed.), McGraw Hill Co. Inc.
3) David, R., & Burnes, Alan (2018). Mandel, geopolitical forecasting skill strategic intelligence. Journal of Behavioural Decision Making, (31), 127 – 131.
4) Dess, G., Lumpkin, G., Eisner, A., & Mcnamara, G. (2014). Strategic management: Text and cases (7th Ed.), USA, New York: McGraw Hill Education.
5) Diderrich, Claude (2019). Design thinking for strategy: Innovating towards competitive advantage. Ebook,http://doi.org/10.10077978-3-030-258075-7.
6) Haider, Mbali Fahny (2002). Information system: An introduction to achieving competitive advantage. Egypt, Cairo: University House for Publishing and Distribution.
7) Kassem, Maysa Yahya (2018). Strategic intelligence and its relationship to problem solving for students of private colleges. Journal of Educational and Social Sciences, 5(1), 494 – 517.
8) Kiyobi, Kibeshi, & Isaga, Nsubili (2019). Strategic entrepreneurship, advantage and SMEs performance in the welding industry in Tanzania. Journal of Global Entrepreneurship Research, 62 (9), 1 – 23.
9) Knosch, Muhammed (2015). The role of strategic intelligence in achieving and

enhancing the organization's sustainable competitive advantage. North African Economics Journal, (13), 91 – 116.

10) Purity Ndubuisi-Okolo, Ifeoma, Anekwe Rita & Anigbogu, Theresa (2017). The effect of strategic intelligence on business in selected commercial banks in south-east Nigeria. International Journal of Trend in Scientific Research and Development, 1(6), 87 – 98.

11) Robbins, S. P., & Coulter, M, (2013). Management (7th ed.). Upper Saddle River: New Jersey, Prentice Hall.

12) Wheelen, Thomas L., & Hunger, J. David (2002). Strategic management and business policy (12th ed.). New York, Prentice Hall.

13) Yousfi, Aladdin (2019). Organizational development and organizational change management mechanisms. Jordan, Amman: Dar Al-Hamid for Publishing and Distribution.

FLAVONOIDS AS NATURAL ANTIOXIDANTS AND THERAPEUTIC AGENTS

Madhumitha .S
Assistant Professor, Department OF Pharmacology, Bharath Institute of Higher Education and Research, Chennai, India
karthick. M
Undergraduate Students, Faculty of Pharmacy, Bharath Institute of Higher Education and Research, Chennai, India.
kalaivanan. S
Undergraduate Students, Faculty of Pharmacy, Bharath Institute of Higher Education and Research, Chennai, India
ameerah. Z
Undergraduate Students, Faculty of Pharmacy, Bharath Institute of Higher Education and Research, Chennai, India

Abstract:
Flavonoids are a diverse group of naturally occurring polyphenolic compounds widely distributed in fruits, vegetables, herbs, and medicinal plants. They have attracted considerable attention because of their antioxidant, anti-inflammatory, antimicrobial, cardioprotective, neuroprotective, and anticancer properties. The antioxidant activity of flavonoids is mainly associated with their ability to scavenge free radicals, reduce oxidative stress, and interact with cellular antioxidant defense mechanisms. This review explores the therapeutic potential of flavonoids and their role in preventing oxidative stress-related diseases. Various flavonoids, including quercetin, kaempferol, catechins, and apigenin, have demonstrated promising biological activities in preclinical studies. Their potential effects on cardiovascular disorders, neurodegenerative diseases, diabetes, and cancer have also been investigated. However, factors such as poor solubility, low bioavailability, rapid metabolism, and limited clinical evidence can restrict their therapeutic application. Recent advances in nanotechnology and novel drug-delivery systems may improve the bioavailability and therapeutic effectiveness of flavonoids. Overall, flavonoids represent promising natural compounds with diverse pharmacological activities and may contribute to the development of safer and more effective therapeutic strategies.
Keywords: Flavonoids, Antioxidants, Oxidative stress, Polyphenols, Pharmacological activity, Natural products.

ADVANCE IN VACCINE ADJUVANT DEVELOPMENT AND FUTURE PERSPECTIVS

Madhumitha . S
Ameerah Z
Sarvanan R

Abstract:
Adjuvants are required to boost and/or modify the vaccine's immunogenicity because the use of highly purified antigens to increase vaccination safety has resulted in decreased immunogenicity and efficacy. There are currently very few adjuvants in approved human vaccinations, despite the need for strong and secure vaccine adjuvants. Particularly in the past ten years, developments in molecular biology and immunology have made it possible for researchers to better understand how adjuvants boost immune responses. A deeper understanding of the biological events triggered by vaccination as well as the impact of other factors like sex, age, microbiota, genetics, and metabolism on the immune response has been made possible by the application of systems biology, which is based on high-throughput technologies using mathematical and computational modeling. This made it feasible to more precisely customize prospective vaccine adjuvants for a successful vaccine with improved protection, safety, and efficiency. The mechanism of action of the adjuvants will be explained in this overview, followed by a detailed discussion of the adjuvants currently used in licensed vaccines and those in clinical research. Lastly, novel methods for developing vaccine adjuvants using systems biology and artificial intelligence will be examined, and future directions for vaccine research concerning quality, safety, and efficacy will be highlighted. With a focus on novel developments in aluminum-based adjuvants, emulsion-based adjuvants, and nucleic acid adjuvants (such as CpG oligonucleotides), this review methodically investigates the processes and historical evolution of vaccination adjuvants.
Keywords: microbiota, systems biology, licensed vaccination adjuvants, mechanism of action, metabolic and epigenetic adjuvants, clinical trials, tissue-resident memory responses

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

Aspergillus niger: A PROMISING CANDIDATE IN MILLET STALK FERMENTATION

Aliyu Abdullahi
Department of Biochemistry, Al-Qalam University Katsina, Katsina State Nigeria.
Aliyu Ibrahim Yaradua
Department of Biochemistry, Umaru Musa Yaradua University Katsina, Katsina State Nigeria.
Abdullahi Nasir
Department of Biochemistry, Umaru Musa Yaradua University Katsina, Katsina State Nigeria.
Ibrahim Hamza Kankia
Department of Biochemistry, Umaru Musa Yaradua University Katsina, Katsina State Nigeria.
Rufai Nasir
Department of Biochemistry, Umaru Musa Yaradua University Katsina, Katsina State Nigeria.
Musa Musa. Gumel
Department of Biochemistry, Al-Qalam University Katsina, Katsina State Nigeria.
Ibrahim Banki Lawan
Department of Biochemistry, Al-Qalam University Katsina, Katsina State Nigeria.
Ahmad Rufai Bello
Department of Biochemistry, Al-Qalam University Katsina, Katsina State Nigeria.
Mustapha Aliyu
Department of Chemistry, Federal University Wukari, Taraba State Nigeria.
Amina Yahaya Sani
Hassan Usman Katsina Polytechnic, Katsina State, Nigeria

This study was aimed at fermenting millet stalk using *Aspergillus niger* as a good candidate in the process. The fungus produce extracellular enzymes that degrade cellulose, hemicellulose and antinutritional components thereby improving the proximate and decreasing the antinutritional components of millet stalk. The millet stalk was collected from farmers in Birchi village, Kurfi Local Government, Katsina State, Nigeria. It was sorted, cleaned and ground into powdered form. Solid state fermentation was employed in fermenting the sample. It was carried out at optimized temperature, pH, moisture, time and inoculum size which were 31^{o}C, 6, 5%, 6 days and 10% v/w respectively. The data were statistically analyzed using Statistical Package for Social Sciences (SPSS version 27). The analyzed results showed significant change ($p<0.05$) in the proximate and antinutritional composition before and after fermentation. The proximate composition parameters were Moisture (7.28% to 8.65%), Ash (4.23% to 5.97%), Crude fiber (34.80% to 21.12%), Crude protein (2.11% to 5.23%), Crude fat (1.99% to 2.78%), Carbohydrate (49.58% to 56.25%). On the other hand, Phytate (4.11 mg/g to 1.76 mg/g), Oxalate (1.75 mg/g to 0.75 mg/g), Tannin (2.31 mg/g to 0.87 mg/g) and saponin (0.93 mg/g to 0.68 mg/g). Fermentation increased Crude protein, Ash, Crude fat, and Carbohydrate contents while reducing Crude fiber and antinutritional factors Phytate, Oxalate, Tannin and Saponin. *Aspergillus niger* is a good candidate in the fermentation of millet.

Keywords: *Aspergillus niger*, Fermentation, Millet stalk, Proximate composition and Antinutritional composition

UNVEILING THE POTENTIAL OF EPIDEMIC-RESILIENT ARCHITECTURE THROUGH CULTURAL INTEGRATION & RESPONSIVENESS FOR DEVELOPING COUNTRIES: A VIRTUAL REALITY EXPLORATION IN PAKISTAN WITH FOCUS ON ENDUSER PARTICIPATION IN HEALTHCARE FACILITIES SUSTAINABILITY

Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti
Associate Professor & COD, Dept. of Architecture, School of Architecture & Planning, UMT, Lahore.
Prof. Dr. M. Asad Ghufran
Professor, Dept. of Environmental Science, International Islamic University, Islamabad.
Prof. Dr. Atta Ullah Shah
Professor & Tenured VC at Karakoram International University Gilgit-Baltistan.
Muzaffar Aziz Iqbal
Environmentalist & Civil Engineer, Islamabad.

ABSTRACT
COVID19 pandemic acted as the icebreaker by jolting the healthcare infrastructure of Pakistan towards its capacity to cope with transformation challenges for healthcare facilities, raising concerns for future epidemics as well as highlighting how cultural influences can hinder or facilitate transformation challenges. Hence there existed a need to explore how transformative healthcare architectural design with integration of cultural values may contribute to the future challenges. Based on the previous exploration from medical teams in COVID19 centers, Virtual Reality (VR) based design interventions were modeled and later evaluated using endusers participation from diversified cultural perspectives for better design evolution to meet transformation endeavors during future epidemics while keeping the existing physical infrastructure operational for allied usages in non-epidemic times. Hence it lead to adaptable, resilient and sustainable healthcare design interventions. Using VR models, VR headsets and animations, endusers feedback was gathered and proposed design interventions were developed for two explored sites. Results showed positive responses as well as future directions based on integrating cultural prospects into the design of healthcare facilities and transformation strategies to meet the future epidemic challenges in Pakistan.

KEYWORDS: Epidemic management, Hospital transformation, Cultural challenges, Virtual Reality, Healthcare design.

CONSTRUCTION-RELATED OFFENCES AND THE RIGHT TO A SAFE AND HEALTHY ENVIRONMENT IN THE REPUBLIC OF MOLDOVA

Vatamanita MARIANA
Drd. in law, "Constantin Stere"University of European Political and Economic Science,
Faculty of Law, Department of Law, Republic of Moldova
ORCID: 0009-0004-2949-4750; +37369491587

Abstract
Construction activities have a direct impact on human safety, public health, property and the quality of the environment. In the Republic of Moldova, the constitutional recognition of the right to live in an ecologically safe and healthy environment creates a broader legal framework within which construction-related offences must be examined. The criminal-law protection of safety in construction and environmental security is therefore not limited to the repression of harmful conduct after damage has occurred, but also forms part of the State's positive obligation to prevent foreseeable risks. This article examines the relationship between fundamental rights and criminal-law norms applicable to construction activities in the Republic of Moldova, with particular emphasis on the right to a healthy environment, the right to health and the right to life. The analysis also considers relevant case-law of the European Court of Human Rights concerning environmental risks, dangerous activities and the positive obligations of States, including Öneryıldız v. Turkey, Budayeva and Others v. Russia, Kolyadenko and Others v. Russia, Brincat and Others v. Malta and Otgon v. the Republic of Moldova. Particular attention is given to the preventive dimension of State responsibility, including legislative regulation, administrative supervision, access to environmental information, risk assessment and effective investigation of serious violations. The article argues that effective criminal-law protection in the construction sector should be understood as one component of a broader preventive system combining criminal, administrative, civil, environmental and regulatory mechanisms, aimed at reducing foreseeable risks and ensuring effective protection of fundamental human rights.
Keywords: construction-related offences; criminal law; right to a healthy environment; public safety; human rights; environmental protection; positive obligations; prevention.

SOCIAL HEALTH IMPLICATIONS OF SKIN BLEACHING AMONG RESIDENTS OF NASARAWA STATE, NIGERIA

DOROTHY AKPOVYE BAGE-JOHN
Department of Sociology,Faculty of Social Sciences, Federal University of Lafia, Nasarawa State, Nigeria

ABSTRACT
Complexion, beauty and good looks are yardsticks for defining social relationships, acceptance and approval in our society. This has lead old and young, rich and poor, male and female genders into changing their complexions, through bleaching. This research was anchored on four research questions as follows: Why do people bleach their skin? How do people perceive those who bleach their skin? What are the health hazards of skin bleaching? Which gender bleaches most? Both quantitative and qualitative techniques were used. The study used the community-based cross-sectional design. Both primary and secondary data were collected and analyzed. Yamane's formula was used to determine the sample size of 204 respondents and administered questionnaires. In addition, purposive sampling was used to select 40 interviewees (5 per ward) for In-depth Interview (IDI). The study was situated in 2 theories: Rational Choice and Reasoned Action. Data were analyzed and findings revealed that skin bleaching has both negative and positive health implications on individuals and society, the female gender bleaches more than their male counterparts and those who do not engage in skin bleaching perceive those who bleach both negatively and positively. The study recommends health enlightenment programs on the health hazards of skin bleaching at Local, State and Federal Government levels by Health Personnel, Social Workers, Sociologists and Psychologist, to enhance the wellbeing of individuals and society.
Key words: Health, Skin-Bleaching, Complexion, Gender, Beauty

1.0 INTRODUCTION
Human beings can generally spend their last dime to look physically good and more attractive. Beauty 'they say' "lies in the eyes of the beholder", and skin colour is often regarded as a criteria for defining beauty. Skin bleaching has been an age-long practice among the young and old in different parts of the World, Africa, Nigeria and Nasarawa State, which is our focus. This common practice is found among the wealthy, who can afford very expensive creams and soaps for bleaching; and the poor who use cheap and affordable chemicals, such as relaxers, and creams and soaps. The practice is not determined by age, as both the young and old engage in such practices, neither is it a product of level of education, as observation shows that both educated and uneducated bleach their skins. Also, gender does not define it, as it is observed to be a common practice among the male and female genders, especially in Nasarawa State. The hot weather in Nasarawa State tends to fast tract the skin bleaching process, bringing out the desired complexion within a short period of time, with less effort, compared to cold regions. We construe society differently, due to the fact that our feelings, thoughts, mind-set, imaginations, and all other mental processes are unique to us and differentiate us, and our actions from that of others. This explains the fact that people have divergent views and actions about and towards those who bleach their skin.
Skin bleaching comes under names like skin-lightening or skin whitening. It involves using creams, soaps or pills to achieve a lighter skin tone. These practices are common amongst non-white populations and are triggered by cosmetic reasons proofed in low self-esteem

considerations (Oluka, 2022). Both men and women bleach their skin, men who use bleaching creams, understand that most women like light-skinned men, so they bleach to attract them. Artificial pink lips commonly called "sexy pink lips", is common among both men and women. The skin bleaching program has continued to grow into a multi-billion-dollar business worldwide, with millions of people in many countries using the products to alter their complexion, especially in Nigeria, in the name of organic soap and cream (Oluka, 2022). Nigerian women have been ranked as the highest users of skin bleaching creams in Africa (World Bank, Cited by Agbo, 2025).

Many reasons have been adduced as to why people bleach their skin, including self-identity, self-esteem, and the desire to look "more beautiful and more attractive in the eyes of their potential partners. Wives engage in bleaching in order to maintain their husbands out of fear that those ladies that bleach might snatch their spouse away. Hard earned income is therefore spent on harmful bleaching products (Usman, 2022). In Africa, there seem to have been a close association between lighter skin colour and beauty and attractiveness. In addition, the contribution of the transatlantic slave trade and colonialism is a motivation for skin bleachers (Barja, Berdeal & Vares, 2010). You rarely see an advert, billboard or poster for a beauty or skincare product with a dark- skinned-toned model. Light skin will always be seen as superior, especially with the way most brands portray it. In many African societies, lighter-skinned women are considered more successful and likely to find marriage. Fairness of the skin carries more advantage of being more confident, sexy and attractive to men (Oluka, 2022).
Nasarawa State is located in central Nigeria; it was created out of Plateau State on 1st October, 1996, by the Military government of General Sani Abacha. It is bounded in the north by Kaduna State, in the west by the Federal Capital Territory (Abuja), in the south by Kogi and Benue States and in the east by Taraba and Plateau States. The state has 13 Local Government Areas and these are: Awe, Akwanga, Doma, Karu, Keana, Keffi, Kokona, Lafia, Nasarawa, Nassarawa Eggon, Obi, Toto, and Wamba (nasarawastate.com.ng/29/10/2013).

1.1 Research Problem, Questions and Objectives

According to a World Bank document, a recent meta-analysis found that 27.1% of Africans practice skin bleaching. An analysis of 68 studies revealed that individuals aged 30 and under, had the highest skin bleaching prevalence in 55.9%, followed by those aged 31-49 and 25.9% (World Bank, Cited in Agbo, 2025). A research obtainable under the National Center for biotechnology (NCBI), a part of the United Nations National Library of Medicine (NLM) reveals that skin bleaching has been associated with a variety of known adverse health effects like dermatitis, exogenous ochronosis, steroid acne, kidney disorder and even cancer. These health conditions are linked to harmful active harmful ingredients found in most skin-lightening products. When a product containing harmful ingredients like hydroquinone is applied to the skin, it decreases the concentration of melanin in the skin .Melanin is a pigment that helps protect the skin from harmful ultra-violet rays. It also gives the skin its colour. When melanin production decrease, it reduces skin protection and puts the skin at a greater risk of developing certain skin cancers. Another active ingredient in skin lightening products is mercury, a toxic heavy metal. It may appear on products labels, under names like Hg, Mercury Oxide, Mercury Iodide, Ethyl Mercury, Mercurous Chloride, or Phenyl-Mercuric Salts (Oluka, 2022). One major focus of this research found out why people bleach their skin.
Medical News Today, a health Information Site in the United States, discloses that people who use mercury-containing products on their skin may develop skin rashes, skin discolouration anxiety, depression, phychosis, reduced resistance to skin infections, and kidney damage. This

occurs with increased exposure, mecury can cause death. Worthy of note is the fact that not all manufacturers list their ingredients transparently. When a product label contains instructions to avoid contact with metal jewelries, that can be a warning sign indicating the presence of mercury (Oluka, 2022). This research focused on the social health effects of skin bleaching in Nasarawa State, Nigeria.

Whether from the perspectives of the Black folks or from those of whites, our communal voyeurism into skin bleaching tends to focus almost solely on the individuals who beach their skin, and not the global institutions that make skin bleaching a viable option. The value bestowed white skin in its presumed connection to whiteness reflects the extent to which the entire society continues to privileged whiteness (Team Ebony, 2016). With our skin colour being the immutable mark of our Blackness, skin bleaching stands as the most egregious attack on our identity, the most literal champion of White supremacy. Most of these skin bleaching products are manufactured in Europe. Where the active ingredients have been banned from use, not manufacture (Team Ebony, 2016). What are the social health hazards of skin bleaching?

Ghana banned skin bleaching products containing hydroquinone, but enforcement is low priority. Ghana Food and Drug Board already banned the import, distribution and use of products containing hydroquinone in excess of 2% concentration in 1995 and reviewed prohibition to 0% in 2005. Likewise the barn, in the United States. Chemical hair relaxers, products that include ingredients similar to the ingredients in many bleaching agents, are placed on our scalps, underneath which lie our brains. Could it be that we continue to seek social acceptance, based upon what it means to look "civilized" in the eyes if the rest of the "civilized" world? (Team Ebony, 2016). This research focused on skin bleaching in Nasarawa State, Nigeria.

A new skin-bleaching procedure that is catching on is the intravenous application of glutathione- a natural antioxidant produced by the liver which can also be obtained in the form of antioxidant supplements tablets. Skin care companies in some African countries are increasingly using glutathione to appeal to pregnant women, aiming to lighten the skin of their babies in the womb. This is the result of the growing demand for light skinned babies. Some come as injectable, which are all dangerous, because even the consumptions of the injectable are unknown (Oluka, 2022).

In Nigeria, skin lightening creams are not effectively regulated. A study from the international Journal of Women's Dermatology published in CNN in January 2022 shows that in Africa, a staggering 75% of Nigerian women bleach their skin. This is closely followed by Senagal (60%), Mali 50% and Ghana 30%. The skin bleaching propaganda became so negative; the cosmetic industry players had to come up with "toning", since "bleaching sounded too harsh". Also, makers of skin –bleaching products have learnt to introduce the term "organic" on their labels (Oluka, 2022). This research unveils which gender bleaches more in Nasarawa State, Nigeria. Skin bleaching has many health implications. This study unveiled the reasons why people bleach their skin, the perception of others, towards people who engage in skin bleaching and about skin bleaching and how the social, physical and mental wellbeing of people can be affected as a result of skin bleaching. The following questions were therefore answered: 1. why do people bleach their skin? 2. How do people perceive those who bleach their skin? 3. What are the social health hazards of skin bleaching? 4. Which gender bleaches more?

Generally, this study found out the social health implications of skin bleaching among residents of Nasarawa State, Nigeria. Specifically, it: 1. inquired why people bleach their skin. 2. explained how people perceive those who bleach their skin 3. Identified the social health hazards of skin bleaching? 4. found out which gender bleaches more.

2.0 THEORETICAL FRAMEWORK

2.1 Rational Choice

The rational choice theory will help explain why people make certain choices in life upon weighing costs, benefits, and risks. The theory further proposes all the choices made by people are rational due to the fact that they calculate the costs and benefits prior to making a decision even the irrational choices. Through this theory you can comprehend the client's decision making process and what has motivated him or her to decide so and based on what rational preference the decisions have been made.

2.2 Theory of Reasoned Action (TRA)

The Theory of Reasoned Action (TRA) was first developed in the late 1960s by Martin Fishbein and revised and expanded by Fishbein and Icek Azjen (Fishbein and Ajzen, 1975) in the decades that followed. It is a theory that focuses on a person's *intention* to behave in a certain way. The aim of the TRA is to explain volitional behaviours. Its explanatory scope excludes a wide range of behaviours such as those that are spontaneous, impulsive, habitual, the result of cravings or simply scripted or mindless (Bentler & Specter, 1970; Langer, 1989). In 1935, Gordon W. Allport theorized that the attitude-behaviour relationship was not uni-dimensional as previously thought, but multi-dimensional. Attitudes were viewed as complex systems made up of the person's beliefs about the object, his feelings toward the object and his action tendencies with respect to the object. Rosenberg and Hovland in 1960 theorized that a person's attitude toward an object is filtered by their affect, cognition and behaviour. In 1969, Wicker conducted an extensive survey and literature review on the subject and he determined "it is considerably more likely that attitudes will be unrelated or only slightly related to overt behaviors than that attitude will be closely related to actions" (Ajzen & Fishbein, 1980:p.25).

As a result of these developments, Fishbein and Ajzen joined forces to explore ways to predict behaviours and outcomes. They assumed that individuals are usually quite rational and make systematic use of information available to them. "People consider the implications of their actions before they decide to engage or not engage in a given behaviour" (Ajzen & Fishbein, 1980:5). After reviewing all the studies, they developed a theory that could predict and understand behaviour and attitudes. Their framework, which has become known as the Theory of Reasoned Action, looks at behavioural intentions rather than attitudes as the main predictors of behaviours. As the Theory of Reasoned Action began to take hold in Social Sciences, Ajzen and other researchers realized that this theory was not adequate and had several limitations (Godin & Kok, 1996). One of the greatest limitations was with people who have little (or feel they have little) power over their behaviours and attitudes.

The Theory of Reasoned Action (TRA) questions the reasons behind behaviour. It is from behaviour that relationships are established, power is determined, hatred or love ensues. Issues of power differentials, where it is assumed that women should only be seen not heard, become obvious, even when both gender have the same moral capacity. The above theory has questioned the reasons behind actions and behaviours in gender relations, but since its explanatory scope excludes a wide range of behaviours such as those that are spontaneous, impulsive, habitual, the result of cravings or simply scripted or mindless, it did not clearly explain gender relations in terms of the patriarchal nature of the society, thus the need for another supporting theory to cover for its inadequacy.

3.0 METHODOLOGY

This study used the community-based cross-sectional design. These research designs were chosen because the researcher was interested in knowing and explaining the confidential details of a large number of people. Both quantitative and qualitative techniques were used. Both

primary and secondary data were collected and analyzed. Yamane's formula was used to determine the sample size of 204 respondents and administered questionnaires. In addition, purposive sampling was used to select 40 interviewees (5 per ward) for In-depth Interview (IDI). A self-administered questionnaire with a closed-ended format was utilized. It was divided into two sections: Part A collected socio-demographic details such as name, gender, and age, while Part B addressed key topics related to the study. The questionnaires were completed by selected adults resident in each of the 13 LGAs. Data collected from the questionnaires were organized into frequency tables and analyzed using frequency distributions and percentages. Percentages were used to represent demographic statistics and response trends, with SPSS version 22 employed for the analysis. Qualitative data were examined through manual content analysis, highlighting the perspectives and insights shared by interviewees. The study prioritized the safety and well-being of all participants. Ethical principles such as honesty, objectivity, respect, caution, confidentiality, transparency, and non-discrimination were upheld. To ensure anonymity, respondents' names were not included in the questionnaires or interview records, and all documents were securely stored to prevent unauthorized access. Research assistants were responsible for obtaining participants' consent by clearly explaining the study's benefits to them.

The study was carried out in Lafia Local Government Area, one of the 13 Local Governments in Nasarawa State, Nigeria. It is the state capital, situated in the central part of Nasarawa State. It is bordered by Kokona LGA to the north, Akwanga LGA to the east, Doma and Keana LGAs to the south, and Nasarawa and Toto LGAs to the west. The wards include Lafia East, Lafia North, Lafia South, Lafia West, and others. The economy is predominantly agrarian, with farming being the primary occupation of the residents. Crops such as yam, maize, millet, cassava, and rice are cultivated in the area. Livestock rearing and trading also contribute to the local economy. Additionally, Lafia, as the state capital, has some commercial and administrative activities. It has basic infrastructure and services such as schools, healthcare facilities, markets, and road networks. The Lafia township area has more developed infrastructure compared to the rural areas within the LGA. The population of Lafia Local Government Area according to the 2024 population projection by NBS at 3.3% population growth per annum was 546,000. Out of this figure, 331,000 are from 18 years and above while 215,000 are below 18 years (NBS, 2024 population projection). Majority of this population is found in the semi-urban settlements of Lafia Local Government Area.

Yamane's (1967) formula for determining sample size was applied in this study. According to the formula, for a population exceeding 100,000, a sample size of 204 was appropriate at a ±0.07% significance level. The adult population of Lafia LGA was estimated at 215,000, with a precision level of ±7%.

Thus, see the formula below

$$n = \frac{N}{1 + N(e)2}$$

Where:

n = sample size

N = Total population

$(e)^2$ = Margin of error (0.07)

1 = Unity (a constant)

Where:

N = 215,000

$(e)^2$ = 0.07%

n =?
Therefore

$$n = \frac{215{,}000}{1+215{,}000\ (0.07)2}$$

$$n = \frac{215{,}000}{1+215{,}000x0.0049}$$

$$n = \frac{215{,}000}{215{,}001\ x\ 0.0049}$$

$$n = \frac{215{,}000}{1{,}053.5049}$$

n =204

In addition to the 204 respondents, IDI was carried out with 40 interviewees (5 per ward). This brings the total population to 244 participants. A multi-stage sampling technique was applied in selection of respondents in this study. Lafia LGA consists of multiple wards, each with varying socio-economic characteristics. The first stage involved using cluster sampling to select a representative number of wards. Given the diverse population, five wards were selected using simple random sampling to ensure a fair representation of urban, semi-urban, and rural communities. This helped capture variations in the perception of skin bleaching across different settings. Stage two included the selection of households; within the selected wards. After identifying households, the study focused on selecting respondents who met the study age criteria of 15 years and above. Since each selected political ward had a different population size, we determined the number of respondents from each political ward thus:

S/N	Political wards	Adult Population	Size	Total
1.	Zanwa	19,000	19,000 / 93,000 x 204 / 1	42
2.	Shabu/kwandere	24,000	24,000 / 93,000 x 204 / 1	53
3.	Gayam	21,000	21,000 / 93,000 x 204 / 1	46
4.	Assakio	13,000	13,000 / 93,000 x 204 / 1	28
5.	Bakin Rijiya/akurba/sarkin Pada	16,000	16,000 / 93,000 x 204 / 1	35
		Total. 93,000		**204**

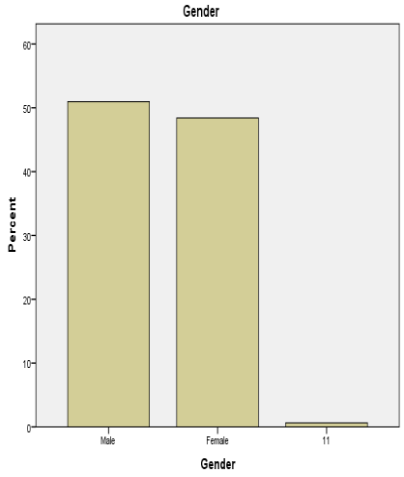
Source: Author compilations 2025

A proportional sampling method was used to select 42 participants from Zanwa ward, 53 from Shabu/Kwandere, 46 from Gayam ward, 28 from Assakio ward, and 35 from Bakin Rijiya/Akurba/Sarkin Pada ward, totaling 204 respondents. The researcher engaged three research assistants and provided them with training on the study's subject matter. A recorder was used to document the interview sessions with permission from participants.

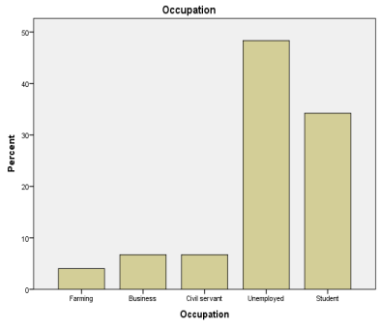
4.0 RESULTS AND DISCUSION OF FINDINGS

Out of 204 questionnaires administered, only one hundred and sixty five (165) were retrieved and properly filled. Therefore, the analysis is based on that, alongside data from the 40 interviewees. .

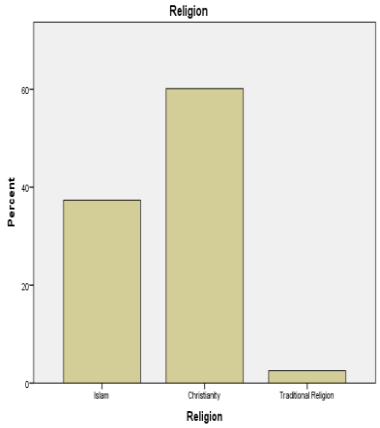
SECTION A: SOCIO-DEMOGRAPHIC DATA OF RESPONDENTS



From the gender perspective, 50% are male respondents, while 47.5% were females. This implies that majority of the respondents were males, while majority of the interviewees were females, in order to have a gender balance.

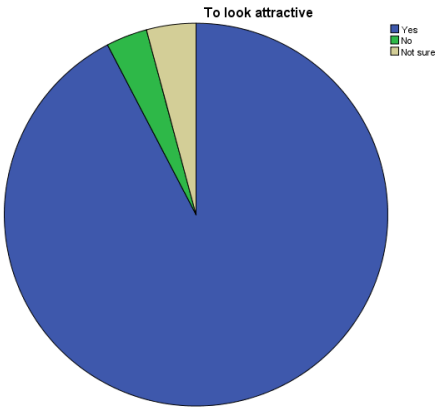


Majority of the respondents (45.0%) are unemployed, this shows the high rate of unemployment in the State. This was closely followed by a student population of 31.2% ,Civil Servants 6.3%, Business 6.3% and lastly faming (3.8) percent.

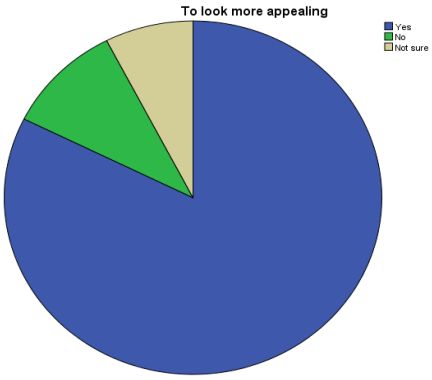


Majority of the respondents (59.4%) are Christians, while 36.9% are Muslims and 2.5% are traditional worshipers.

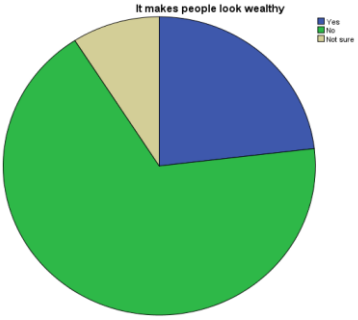
SECTION B: Why do People Bleach their Skin?



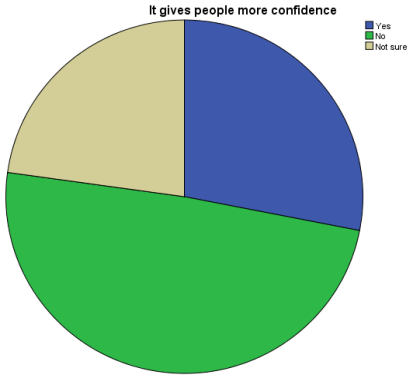
In response the question why do people bleach their skin, majority (83%) of the respondents opined that people bleach their skin in order to look attractive, 3.1 % disagreed, while 3.8% were not sure. This underscores the fact that many dark skinned people are dissatisfied with their complexion and want to be lighter in complexion. This also tells the fact that many people perceive light complexion as beautiful.



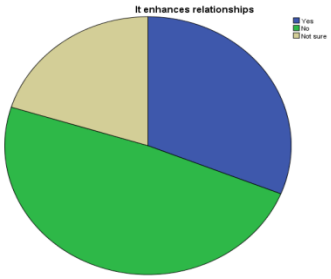
Majority of the respondents (61.3%) opined that people bleach their skin to look more appealing, while 7.5% of the respondents disagreed to that view. This explains the desire for acceptance in people. An interviewee opined in support of this that People bleach their skin just to have a fair complexion. Most people are not comfortable with the normal black skin given by God, they prefer to bleach it. (Female, 30 years). Another interviewee said: People bleach because they want to be fair to attract men/women, and to also look beautiful (Female, 36 years). Also, People bleach their skin because they want to look more attractive to their opposite sex (Male, 31 years).



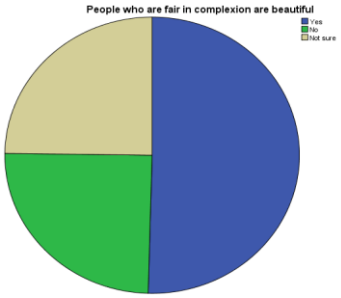
Majority of the respondents (51.3%) were of the view that skin bleaching does not make people look wealthy, while 17.5 opined that it makes people look wealthy and 6.9% were not sure. This tells that fair skin is not misconceived for wealth.



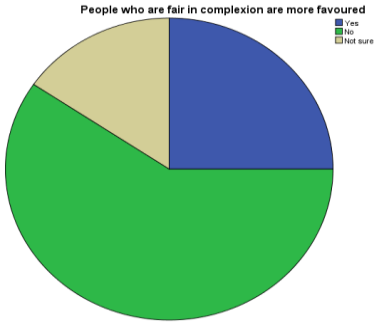
Also, majority of the respondents (35.0%) were of the view that skin bleaching gives people more confidence, while 20.0% of the respondent were of the view that it gives people more confidence and 16.3% were not sure. This explains that people who bleach their skin desire more attention. An interviewee supported this data, saying: People bleach their skin because of low self-esteem; they feel like they are not beautiful in their melanin skin (Female, 35 years).



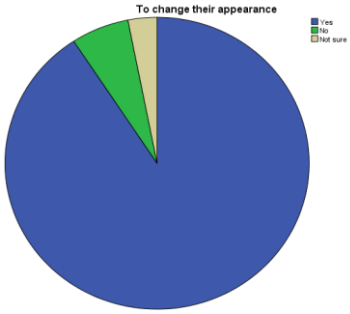
In addition, majority of the respondents (36.3%) opined that skin bleaching enhances relationships, 23.1% disagreed and 15.0% were not sure. This explains the reality that people who bleach does so to attract people to them. To support this data, an interviewee said: People bleach to change the colour of their skin from dark to fair, and also, those who are fair would like to maintain their skin and also to increase their fairness (Male, 36 years). Another said: People bleach because they want to be fair to attract men/women, and to also look beautiful (Female, 36 years).



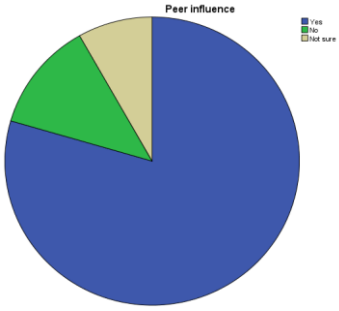
Furthermore, (36.9%) of the respondents opined that people who are fair in complexion are beautiful, while 18.1% objected, and 18.1% were not sure. This underscores the fact that fair skin if confused for beauty. People bleach their skin for the various reasons: one of the reasons is because they prefer to be fair in complexion. People bleach their skin due to peer influence and fashion. People bleach their skin especially ladies that like to be model because the fair complexion attracts the opposite sex. They like to look attractive (Male, 35 years).



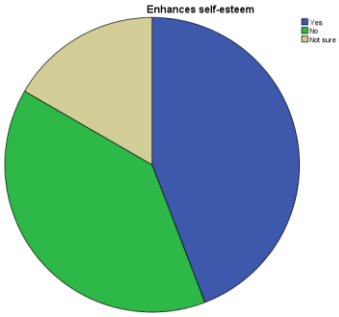
Majority of the respondents, (43.1%) disagree with the fact that People who are fair in complexion are more flavored. This unveils the fact that skin colour is not a good measure of favour. This finding disagrees with the findings of Oluka (2022), which states that in many African societies, lighter-skinned women are considered more successful and likely to find marriage (Oluka, C. 2022).



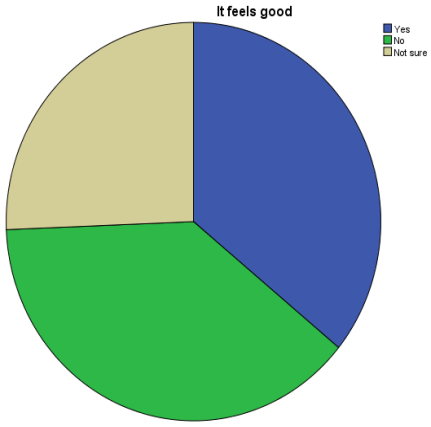
Majority of the respondents, (73%) agreed that people bleach to change their appearance. In other words, they want to look more attractive. In line with these findings, an interviewee said People bleach their skin or change the colour of their skin to fairer colour because they want to look brighter, they feel they have the money to take care of themselves at will, to look like their peers or groups, and ignorantly sometimes, they buy soaps and creams without knowing the chemical contents (Female, 48 years).



Majority of the respondents, (60.6%) agreed that people engage in skin bleaching as a result of peer influence. They may see their peers bleaching and want to be like them.



Majority of the respondents, (60.6%) agreed that skin bleaching enhances self-esteem. This implies that it gives them an unusual kind of confidence, knowing that they look attractive and beautiful. Some interviewees said: People bleach because of peer influence, fashion acceptance, to change their colour (Male, 40 years). Bleaching is mostly caused by low self-esteem. Other reasons are peer pressure, Aesthetic purposes, to be more attractive (Female, 29). This findings corroborates the findings of Oluka (2022), which stated that these practices are common amongst non-white populations and are triggered by cosmetics reasons proofed in low self-esteem considerations (Oluka, 2022). Fairness of the skin carries more advantage of being more confident, sexy and attractive to men (Oluka, C. 2022).



Majority of the respondents, (28.1%) disagreed that it feels good to bleach because of the known side effects and cost implications. This finding unfolds the fact that people have variant reasons for practicing skin bleaching. In line with this, an interviewee said people bleach because they want to be like white men (Male, 45 years). Other interviewees supported, saying:

People bleach their skin to look more beautiful (Female, 30 years). People bleach their skin to look like the foreigners (Male, 26 years). Some people bleach their skin to look attractive (Female, 42 years). To look attractive and enhance body beauty (Female, 46 years). For beautification (Female, 35 years). They want to look good (Males, 44). They want to beautify themselves (Male, 50 years). People bleach their skin to look better than they are already. It usually occurs among dark-skinned people who want to have a fair skin (Female, 29 years). Because they want to look beautiful, fair in complexion, and attract attention (Male, 39 years). People bleach their skin in order for their skin colour to become light in complexion. (Male, 29 years). People bleach their skin to get a fair looking skin type; People believe fair skin makes them look more beautiful (Female, 45 years). Most people bleach because they want to look fair or lighter than their normal skin colour. Some bleach because they want to be celebrated especially our celebrities. Skin bleaching is also a societal demand (Female, 30 years). People bleach their skin because they belief lighter skin persons attract people to themselves, especially

affection love (Male, 32 years). People bleach to look more beautiful in order to improve their confidence (Female, 50 years). People bleach because they want to be fair to attract men/women, and to also look beautiful (Female, 36 years).

Section C: Perception of People Who Bleach their Skin

This section discussed the perception of people who are engaged in skin bleaching. It covers questions about what others think and feel and how they relate with people who engage in skin bleaching.

They look irritating

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Yes	106	66.3	82.2	82.2
	No	7	4.4	5.4	87.6
	Not sure	16	10.0	12.4	100.0
	Total	129	80.6	100.0	
Missing	System	31	19.4		
Total		160	100.0		

Majority of the respondents (66.3%) said people who bleach look irritating. This is due to the obvious damages caused to their skin.

Females who bleach their skin are prostitutes

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Yes	24	15.0	20.2	20.2
	No	67	41.9	56.3	76.5
	Not sure	28	17.5	23.5	100.0
	Total	119	74.4	100.0	
Missing	System	41	25.6		
Total		160	100.0		

Most of the respondents (66.3%) disagree that females who bleach their skin are prostitutes. This implies that skin bleaching is not a yardstick for measuring prostitution.

Males who bleach their skin are womanizers

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Yes	39	24.4	33.6	33.6
	No	51	31.9	44.0	77.6
	Not sure	26	16.3	22.4	100.0
	Total	116	72.5	100.0	
Missing	System	44	27.5		
Total		160	100.0		

Majority of the respondents (31.9 %) disagree that male who bleach their skin are womanizers. This implies that skin bleaching is not a yardstick for measuring promiscuity.

They do not look natural

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Yes	116	72.5	91.3	91.3
	No	5	3.1	3.9	95.3
	Not sure	6	3.8	4.7	100.0
	Total	127	79.4	100.0	
Missing	System	33	20.6		
Total		160	100.0		

Majority of the respondent (72.5%) were of the opinion that people who bleach their skin look fake. This implies that they wear an artificial deceptive look.

Lack contentment

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Yes	103	64.4	79.2	79.2
	No	13	8.1	10.0	89.2
	Not sure	14	8.8	10.8	100.0
	Total	130	81.3	100.0	
Missing	System	30	18.8		
Total		160	100.0		

Most of the respondents (64.4%) opined that people who bleach their skin lack contentment. This implies lack of gratitude and satisfaction of themselves; it also unveils the fact that they wish they were someone else.

Lack confidence

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Yes	82	51.3	65.6	65.6
	No	24	15.0	19.2	84.8
	Not sure	19	11.9	15.2	100.0
	Total	125	78.1	100.0	
Missing	System	35	21.9		
Total		160	100.0		

Majority of the respondents (51.3%) were of the view that people who bleach are lacking in self-confidence. This explains the fact that bleaching to look fair in complexion enhances their self-confidence.

Lack self-esteem

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Yes	78	48.8	66.1	66.1
	No	16	10.0	13.6	79.7
	Not sure	24	15.0	20.3	100.0
	Total	118	73.8	100.0	
Missing	System	42	26.3		
Total		160	100.0		

Majority of the respondents (48.8%) were of the view that people who bleach are lacking in self-esteem. This explains the fact that bleaching to look fair in complexion enhances their low self-esteem.

Look ugly

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Yes	58	36.3	50.4	50.4
	No	36	22.5	31.3	81.7
	Not sure	21	13.1	18.3	100.0
	Total	115	71.9	100.0	
Missing	System	45	28.1		
Total		160	100.0		

Majority of the respondents (36.3%) perceive people who bleach their skin as ugly. This implies that bleaching does not give people a naturally good look, but creates a false impression.

Look unserious

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Yes	59	36.9	49.2	49.2
	No	38	23.8	31.7	80.8
	Not sure	23	14.4	19.2	100.0
	Total	120	75.0	100.0	
Missing	System	40	25.0		
Total		160	100.0		

Also, majority of the respondents (36.9%) perceive people who bleach their skin as unserious people. This implies that they focus on things that are not important.

Are ignorant about nature

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Yes	75	46.9	68.8	68.8
	No	20	12.5	18.3	87.2
	Not sure	14	8.8	12.8	100.0
	Total	109	68.1	100.0	
Missing	System	51	31.9		
Total		160	100.0		

Majority of the respondents (46.9%) perceive people who bleach their skin as people who are ignorant about nature. This implies that real beauty comes is not measured by outward appearance.

Are pretenders

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Yes	67	41.9	62.0	62.0
	No	21	13.1	19.4	81.5
	Not sure	20	12.5	18.5	100.0
	Total	108	67.5	100.0	
Missing	System	52	32.5		
Total		160	100.0		

Majority of the respondents (41.9%) perceive people who bleach their skin as pretenders. This implies faking of personality and not being ones true self.

Are immoral

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Yes	54	33.8	48.6	48.6
	No	31	19.4	27.9	76.6
	Not sure	26	16.3	23.4	100.0
	Total	111	69.4	100.0	
Missing	System	49	30.6		
Total		160	100.0		

Majority of the respondents (33.8%) perceive people who bleach their skin as being immoral. This implies that they do not practice what is right.

Are childish

		Frequency	Percent	Valid Percent	Cumulative Percent
Valid	Yes	58	36.3	51.8	51.8
	No	31	19.4	27.7	79.5
	Not sure	23	14.4	20.5	100.0
	Total	112	70.0	100.0	
Missing	System	48	30.0		
Total		160	100.0		

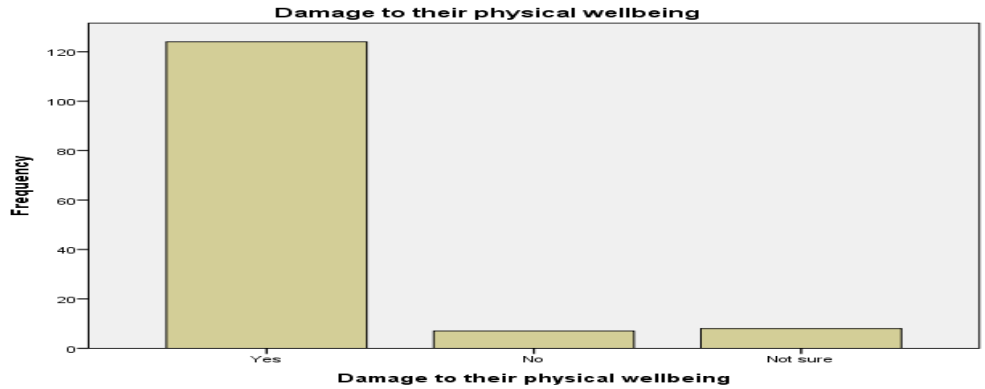
Majority of the respondents (36.3%) perceive people who bleach their skin as being childish. This implies that their minds are focused on unserious things.

To support the data on perception of people who bleach their skin, the key informants had these to say:

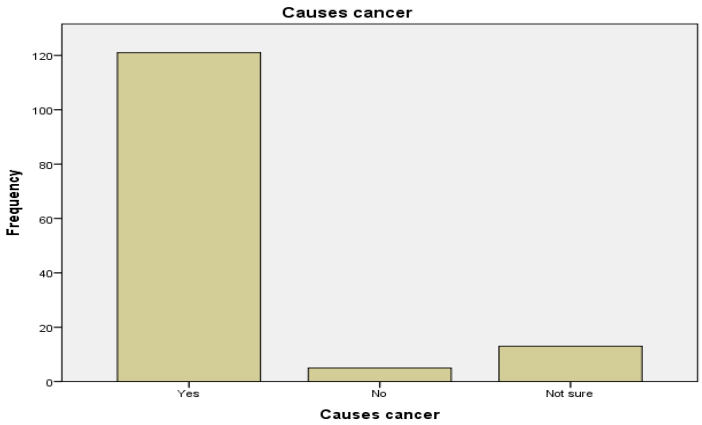
As good looking (female, 24 years). I perceive it as irritating, especially for men that bleach their skin (Female, 36 years). Some would like them as they bleach while others do not like them; I frown at such people because it is irritating. Some have a particular offensive odor (Male, 56 years). Their skin is not strong and can easily get injured (Male, 36 years). I perceive those that bleach their skin as womanizers or *ashawo* women because I believe they do that to attract each other for sex purposes (Male, 31 years). I consider those that bleach their skin as unnatural people, discontented, and those that want to be loved by others (Male, 32 years). I tell people who bleach that they have no sense of confidence about themselves and are very irritating (Female, 45 years). I see them as uneducated (Male, 62 years). Some of them are not religion conscious. Skin bleaching is also a waste of time. They mostly have body odour (Female, 30 years). I see it as social deviance (Female, 45 years). To attract the opposite sex, it irritates me (Male, 40 years). I perceive them as people with low self-esteem (Male, 29 years). I perceive those who bleach their skin as ugly (Female, 29). I see them as unserious women. (Male, 42 years). It causes damages to their physical wellbeing. It causes body odour and exposes such individual to skin cancer (Male, 46 years). Its result leads to social stigmatization (Male, 35 years). I am not comfortable with them (Males, 44). I perceive them as ignorant of nature, i.e. natural law (Male, 50 years). Personally, I find it irritating when people user cream to bleach their skin. (Male, 29 years). I perceive them as very irritating. Sometimes they smell bad as a result of chemical reaction associated with the lotion (Male, 39 years). I see them as pretenders and people faking it just to get the approval of the society (Female, 35 years). People who bleach their skin are people who force themselves to artificially look good whereas, natural beauty is better, if not the best. (Male, 26 years). Some people see them as ignorant people because bleaching is not good. Some of them are perceived as smelling especially the male counterparts. Their skins are very light and tough with wrinkles and dark patches when they grow older (Female, 48 years). I personally do not like it when I see people that have bleached their skin. Some do it to look more attractive (Female, 30 years). I perceive them as Immoral and childish (Male, 45 years).

Section D: What are the Social health hazards of skin bleaching?

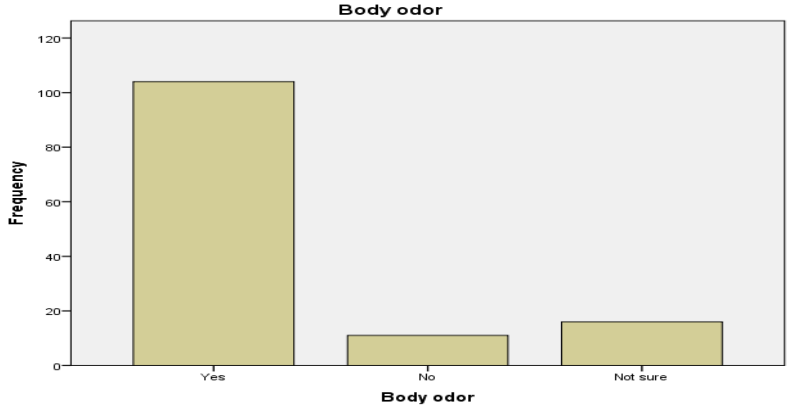
This section explains the social health hazards of skin bleaching.



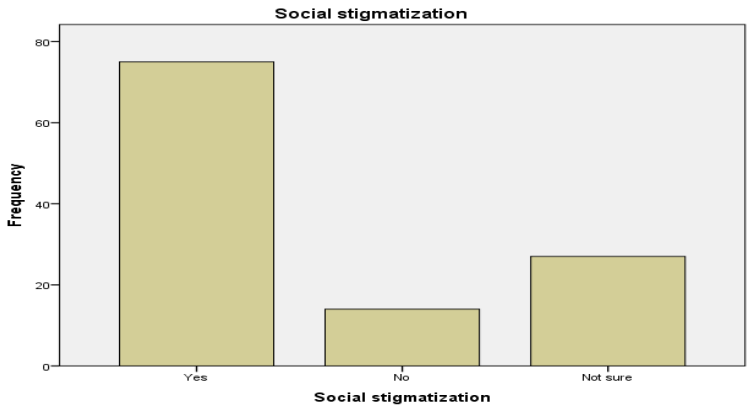
Majority of the respondents (77.5%) opined that skin bleaching damages physical wellbeing.



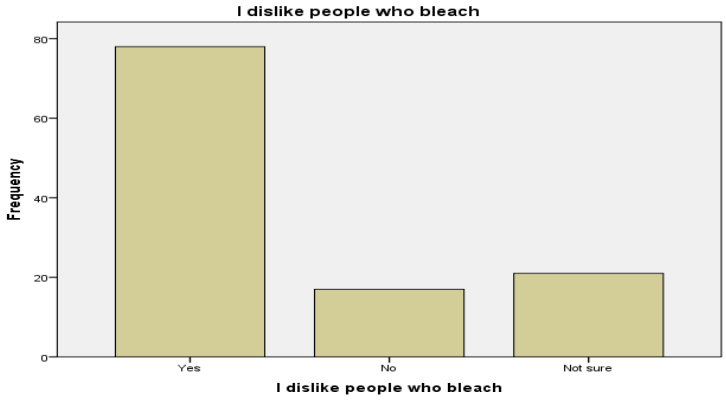
Most of the respondent (77.6%) said skin bleaching causes skin cancer.



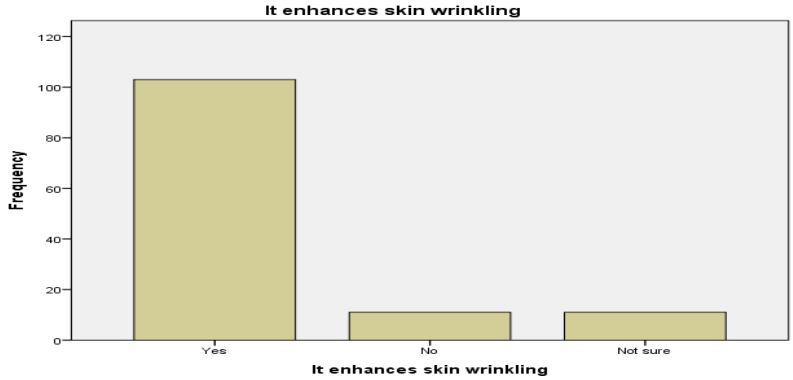
Majority of the respondents (65.0%) opined that skin bleaching causes body odor. This occurs as a result of the damages to the skin layers and wounds, which may take time to heal.



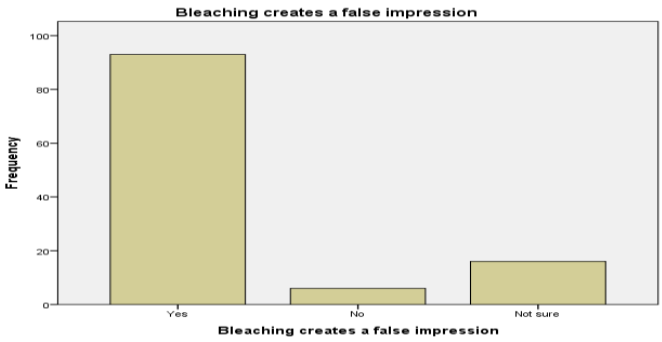
Majority of the respondents (46.9%) opined that people who skin bleach their skin are socially stigmatized.



Most of the respondents (48.8%) dislike people who bleach their skin. This implies that skin bleaching negatively affects social relationships.



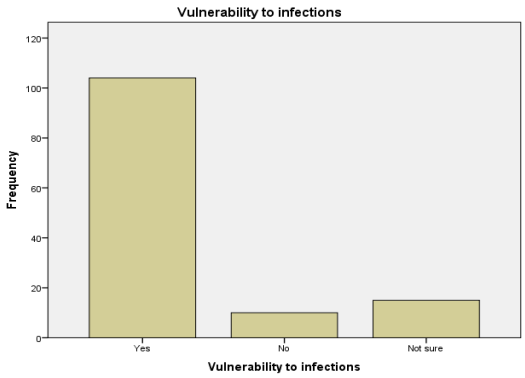
Most of the respondents (64.4. %) emphasize that skin bleaching enhances skin wrinkling, thus, speeds up the process of aging.



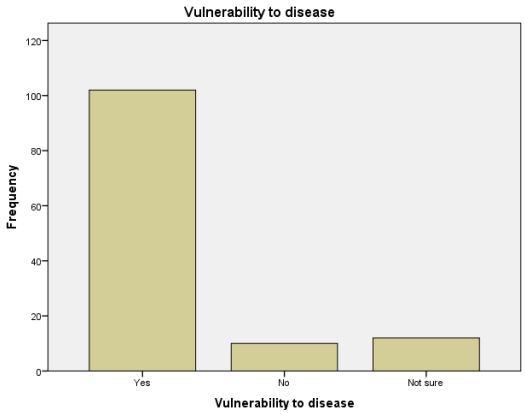
Majority of the respondents (58.1%) are of the view that skin bleaching creates a false impression. This because it gives an artificial skin colour, which is deceptive.



Majority of the respondents (72.5%) opined that skin bleaching causes slow recovery of wounds. This is because the chemicals weaken the skin layers.



Majority of the respondents (65.0 %) were of the view that skin bleaching exposes the skin to infections. This is because it damages the protective layer of the skin.



Majority of the respondents (63.8 %) were of the view that skin bleaching exposes those involved to diseases. In order to give deeper meaning to the quantitative data on health hazards of skin bleaching, the interviewees gave the following responses:
People who bleach age faster (Wrinkles), and they get acnes (Female, 72 years old).
Health-wise, bleaching is not good to the skin and health in general because it might cause cancer of the skin (Female, 36 years).
The health hazards include, increased chances to skin cancer, sun burns, it takes time for their skin that has sustained injury to heal in good time. It can make the skin very light and as such make it difficult for such person to undergo surgery when need arises (Male, 31 years).
Bleaching is bad and hazardous to the skin because it makes the skin to be soft and lighter which is dangerous to the body especially when surgery is needed to be done in the hospital; it makes the person to vulnerable to infections and diseases especially skin rashes because of the skin colour; It makes their immune system to be weak (Male, 35 years)
Bleaching of the skin can cause skin cancer; it is hard for wounds to heal in time of injuries; stigmatization from others that hate bleaching (Male, 32 years)

They are prone to skin cancer, fast aging, and allergies; they feel shameful to expose themselves, especially when physical damages begin to occur (Female, 45 years)

It can lead to skin rashes, eczemas, etc. It is difficult for them to be operated on because the real skin has been terminated (Female, 30 years)

It affects their skin and makes it lighter. That makes them prone to disease like cancer. It also affects the society interaction. They are prone to depression as the result of people not interacting with them cordially (Male, 40 years)

Skin disease, breakdown of the skin layer when they start aging (Male, 29 years)

Kidney failure, skin diseases, and skin discolouration (Female, 29).

It makes those who bleach have skin diseases such as eczema, dots, etc. Secondly, physically, their skin becomes damaged, so they feel ashamed. (Male, 42 years).

It affects social relations (Male, 46 years).

It damages and increase risks of skin cancer. It can cause low self-esteem. It can lead to uneven

skin tone (Male, 35 years).

Skin decay and stigmatization (Males, 44)

It leads to skin cancer (Male, 50 years).

Skin bleaching causes skin cancer. It also makes people to feel that the skin bleachers have inferior complex, and may cause the person to be discriminated against on that basis. The person who bleaches their skin may find it difficult to associate with people especially when the bleaching affects their skin by leaving marks on their body (Male, 29 years).

Physical defects or irritation; psychological hazard as a result of experiencing negative changes in their skin; guilt and shame as a result of physical defects on their skin; stigmatization from the society; rejection from the society. (Male, 39 years).
It can lead to skin infection and also skin cancer because of the hard chemicals they use. (Female, 35 years).

It changes the natural structure of the human. It psychologically affects them as it changes their thinking of feeling superior to whoever does not bleach (Male, 26 years).

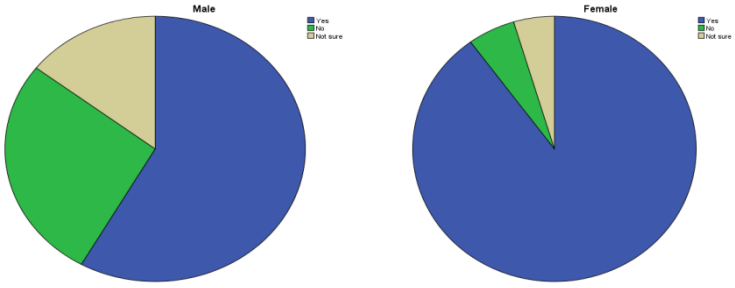
It causes skin cancer. It makes them nervous especially when some affected parts of their bodies are mistakenly exposed. This affects their social lives also. Spiritually, they are not comfortable to talk to others about skin bleaching. It affects them during surgeries. This is because it is difficult for stitches to be done on the affected areas may be as a result of accident or surgeries. It can cause gene mutation. Socially, they might be isolated. (Female, 48 years).

It spoils the skin that is a physical damage. Mentally, when your skin spoils, it can affect your mental health (Female, 30 years).

It leads to different skin diseases (Male, 45 years).

A key informant had this to say:
I have been using a particular cream and soap for the past three years that has given me a beautiful complexion; little did I know the side effects where deadly, until I had a major surgery, the stiches opened twice, because my skin was weak. It almost cost me my life that was when I painfully realized the health effects of skin bleaching. I have stopped, my skin is getting darker than before I started using the cream and soap, I am ashamed to go out of my house and relate with others (Female, 45 years).
Another key informant said I learnt from my neighbors personal experience, who died as a result of bleeding from injuries that that did not heal after a cesarean section (CS) (Female, 41 years).

Section E: Which gender bleaches more?



This section focuses on the gender that engages in skin bleaches more. The result indicates that the female gender (72.5%) bleach their skin more than the male gender (20%). This implies that the female gender is more concerned about their complexion than their male counterparts. From the results of the IDI, the following was unveiled:

Females bleach more than men (female, 67 years old). The female gender bleaches more than men (Female, 36 years). The female gender bleaches more, although the male gender bleaches well too (Male, 36 years)
Female gender bleach more (Male, 31 years)

Females, because they want to be attractive (Male, 32 years)

The female gender bleaches the more because they want to be attractive since they feel it makes them more beautiful (Female, 45 years)

Females, because almost all women and ladies want to be accepted and celebrated. (Female, 30 years)

The female genders bleach more. (Male, 40 years)

Females, because they believe men prefer light-skinned women. (Male, 29 years).

Females, because men prefer ladies with lighter skin.(Female, 29).

Females, because they want to look attractive to men (Male, 42 years).

Female, because they always concern with their outcome and to look attractive before the opposite gender (males) (Male, 46 years).

Female bleach more because of peer and social pressure, marketing and advertisement, economic factors, and societal beauty standards (Male, 35 years).

Females, they want to be admired (Males, 44).

The female gender (Male, 50 years).

Bleaching is common among females; however, the males also bleach. Women bleach because they want to be beautiful; they want their skin to glow (Male, 29 years).

Females (Male, 39 years).

Females tend to bleach more because of their needs and desperate want for approval from men. (Female, 35 years).

The female gender bleaches more because there is an adage that says, “Men mostly believe in what they see (sight), that’s why ladies apply makeup while women believe on what they hear, that’s why men lie a lot”. (Male, 26 years).

The female still bleaches more because they want to look more attractive. (Female, 30 years)

Females, because they like to win their boyfriends (Male, 45 years)

These findings are in agreement with World Bank, Cited by Agbo (2025) which stated that Nigerian women have been ranked as the highest users of skin bleaching creams in Africa (World Bank, Cited by Agbo, 2025).

SUMMARY CONCLUSION AND RECOMMNENDATIONS

Summary

Findings from question one: Why do people bleach their skin, unveiled the facts that every individual that engages in skin bleaching has his or her unique reasons, ranging from beauty, attractiveness, more appealing looks, gives more confidence, self-actualization, quest for belonging, attraction, psychological good feeling; to negative motives, as a result of peer-pressure, low/lack of self-esteem.

Findings from question two: How do people perceive those who bleach their skin? unveiled interesting facts. In summary, people have both negative and positive perception for those who bleach their skin. They are perceived: with disgust, irritation as prostitutes, fake, lack contentment, proud, lack confidence and self-esteem, do not know God, deviants, ugly, unserious, arrogant, artificial, pretenders, immoral and childish.

Which gender bleaches more?

Findings from objective three: What are the social health hazards of skin bleaching?

Unveils the following facts: damages to physical well-being, skin cancer, body odour, social stigmatization, social disproval, skin wrinkling, false impression

Conclusion

Skin bleaching has both negative and positive health implications on individuals and society, the female gender bleaches more than their male counterparts and those who do not engage in skin bleaching perceive those who bleach both negatively and positively.

Recommendations

The study recommends:

1. Health enlightenment programs on the health hazards of skin bleaching at Local, State and Federal Government levels by health personnel, Social Workers, Medical Sociologists and Clinical Psychologist, to enhance the wellbeing of individuals and society.
2. Community based enlightenment programs on the social perceptions of skin bleaching by Sociologists.
3. Peer-education and mass media advocacy programs on healthy and natural beauty tips.

REFERENCES

Team Ebony (2016). Culture, News and Politics. Beauty and the bleached: This issue is more than skin deep. Retrieved from https//www.eboney.com/skin-bleaching/05/13/2025
Oluka, C.(2022). Deep-seated skin bleahing culture in Nigeria. Retrieved from https//grassrootsing/2023/11/03/deep-seated-skin bleahing -culture in- nigeria/05/13/2025
Agbo.L.(2025). Nigeria:Top 5 countries with the most skin bleaching population. *The Vanguard*. https://allafrica.com/stories/05/13/2025.
Usman. U. (2022). Skin bleaching, a dangerous trend in kano. *The Guardian*.
Barja,J.M., Berdeal, M, Vares, M,(2010).Xeesal: Cosmetics skin whitening in Sub-Saharan Africa. *Actas Dermaosifiliogr*.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

DYNAMIC, CONTEXT-AWARE AND REVOCABLE ATTRIBUTE-BASED ENCRYPTION FOR IOT–EDGE COMPUTING

A Research Gap Analysis and Proposed Architecture Building on CP-ABE, Multi-Authority ABE, Revocation, Policy Updating and Proxy Re-Encryption

Dr. Djenaoui Abdelatif
Business Incubator, University of M'sila, Algeria
ORCID: ID/0009-0008-6272-4860

Abstract

Attribute-Based Encryption (ABE) has evolved substantially since Sahai and Waters introduced Fuzzy Identity-Based Encryption and Goyal, Pandey, Sahai and Waters proposed Key-Policy ABE, establishing descriptive attributes as cryptographic access-control primitives. Bethencourt, Sahai and Waters then introduced the first concrete Ciphertext-Policy ABE (CP-ABE) construction, later made more expressive and provably secure by Waters. Lewko and Waters extended this model to decentralized, multi-authority settings, while Rouselakis and Waters developed large-universe constructions that admit arbitrary attribute strings without enumerating the universe at setup, and later combined large-universe attributes with multiple authorities. Subsequent practical work integrated outsourced decryption, attribute revocation and policy updating into a single scheme. Despite this progress, dynamic Internet of Things (IoT) and Edge computing environments introduce authorization requirements that static cryptographic access control does not fully capture: device state, location, time, service context, trust and risk may change continuously, while devices themselves remain resource-constrained and may operate across independent administrative domains.

This paper maps the major milestones in ABE research and identifies a research gap at the intersection of decentralized multi-authority ABE, large-universe attributes, dynamic context- and trust-aware authorization, continuous revocation, proxy-assisted policy adaptation, and Edge-aware efficiency. It argues that IoT authorization can change even when a user's or device's long-term attributes remain unchanged — for example, device integrity, location, emergency status, trust score and network risk — and that existing ABE schemes do not treat such dynamic context as a first-class cryptographic input.

To address this gap, the paper proposes a conceptual architecture tentatively named Dynamic Context- and Trust-Aware Large-Universe Multi-Authority CP-ABE with Proxy-Assisted Policy Adaptation (DCTA-LU-MA-CP-ABE). In this architecture, independent attribute authorities issue attributes within their own domains; a context collector gathers time, location, device state, and service and environmental information; a trust/risk engine continuously evaluates behavior and risk; and a dynamic policy engine combines attributes, context, trust, risk and data sensitivity into an authorization decision, expressed conceptually as Policy(t) = F(A(U), C(t), T(U,t), R(U,t), S). Cryptographic enforcement is carried out by a large-universe multi-authority CP-ABE layer, while a proxy re-encryption and policy-update layer adapts authorization without re-encrypting bulk payloads, a dedicated revocation layer handles permanent and temporary restrictions, and a lightweight ledger supports auditability of policy, trust and authorization events.

The paper defines a research agenda rather than a completed cryptographic construction: it sets out research objectives, a security model, and an evaluation methodology for benchmarking a future prototype against representative BSW, Waters, Rouselakis–Waters and large-universe multi-authority ABE baselines. Expected scientific contributions include a formal model

linking attributes, context, trust, risk and sensitivity; a large-universe multi-authority CP-ABE construction supporting dynamic policy adaptation; a revocation mechanism distinguishing permanent from temporary context-based restriction; a proxy-assisted update mechanism; a formal security proof against collusion, malicious proxies, stale-policy and replay attacks; and a reproducible IoT–Edge prototype with quantitative benchmarking. No experimental performance results are reported at this stage. The paper also discusses open problems, including the need for an explicit trust model for context sources, the communication overhead of continuous policy updates, and privacy and secure-issuance questions in multi-authority deployments, positioning adaptive, context- and trust-aware cryptographic authorization as a natural next step in the evolution of ABE for IoT–Edge systems.

Keywords: Attribute-Based Encryption, CP-ABE, Multi-Authority ABE, Revocation, Policy Updating, Proxy Re-Encryption, Context-Aware Security, Trust Management, IoT, Edge Computing.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

DEMOGRAPHIC DIFFERENCES IN THE SEROPREVELANCE OF CO-INFECTION OF HCV & HBV IN HIV PATIENTS IN PESHAWAR

Bela Inayat
Kalsoom Tariq
Ayesha Jameel

ABSTRACT

Objective:To determine the demographic differences in the sero prevalence of hepatitis C, hepatitis B co-infection in HIV positive patients in Peshawar. Materials & Methods:In this descriptive cross sectional study, a total of 139 HIV patients, who were registered at the Family Care Centre HMC were enrolled to determine the seroprevalence of hepatitis B, hepatitis C co-infection in HIV&the demographic differences present. Blood was obtained from each patient for serological testing ofHBV & HCV, in addition liver function tests were also performed.

Results:Diagnosis of HIV among 139 patients was analyzed as 11 (8%) patients had elisa, 1 (1%) patients had elisa/PCR, 108 (78%) patients had elisa/rapid, 1 (1%) patients had elisa/WB, 2 (1%) patients had PCR, 2 (1%) patients had PCR/ rapidCo infection among 139 patients was analyzed as 19(14%) patients had HBV positive, 22(16%) patients had HCV positive and 3(2%) patients had positive pulmonary tuberculosis.

Conclusion:Due to the common modes of transmission the HIV positive patients our part of the region are at a much higher risk of acquiring co infections with HBV and HCV. Therefore the positive HIV patients must be routinely tested for markers of HBV/HCV tohelp in their timely diagnosis and prompt treatment.

Key words: Human immunodeficiency virus (HIV), Acquired immunodeficiency syndrome (AIDS), Hepatitis B virus(HBV), Hepatitis C virus (HCV).

PHYTOCHEMICAL PROFILE AND ANTIBACTERIAL POTENTIAL OF MARRUBIUM VULGARE L. FROM DJELFA, ALGERIA

Maamri Sarra
Laboratoire des sciences fondamentales, université Amar Telidji, 03000 Laghouat, Algérie
Laboratory of Technologies Soft and Valorization of Biological Materials and Biodiversity-Faculty of Science University M'hamed Bougara of Boumerdes, Algeria
Laoufi Razika
Laboratory of Technologies Soft and Valorization of Biological Materials and Biodiversity-Faculty of Science University M'hamed Bougara of Boumerdes, Algeria
Ait Mimoun Nouara
Department of Biology, Laboratory of Microbiology, Bouira University, Bouira, Algeria.
Djeziri Mourad
Center for scientific and technical research in Physico-chemical analysis (CRAPC) BP 384 Bouismail, Tipaza. Algeria.
Research Laboratory in Food Technology, Faculty of technology, University M'hamed Bougara of Boumerdes 35000, Algeria.
Alileche Khoukha
Department of Biology, Laboratory of Microbiology, Bouira University, Bouira, Algeria.
(Center for scientific and technical research in Physico-chemical analysis (CRAPC) BP 384 Bouismail, Tipaza. Algeria.

ABSTRACT
Marrubium vulgare L. (horehound) is a medicinal plant widely used in traditional medicine for its various therapeutic properties. The present study aimed to characterize the phytochemical profile of *M. vulgare* and evaluate its antibacterial potential. The plant powder was subjected to preliminary phytochemical screening using conventional methods and thin-layer chromatography (TLC). The total phenolic and flavonoid contents were also determined. The antibacterial activity of the extract was evaluated on solid media against different bacterial strains. Phytochemical screening revealed the presence of several groups of secondary metabolites, including tannins, alkaloids, flavonoids, glycosides, saponins, and mucilages. The total phenolic content was 0.934 mg GAE/g of plant powder, while the flavonoid content reached 1.007 mg RE/g of dry extract. The *M. vulgare* extract showed variable antibacterial activity depending on the tested strains, with particularly high susceptibility observed in *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*, and *Staphylococcus aureus*. These findings highlight the potential of *M. vulgare* as a source of bioactive compounds and support its potential valorization as a plant-derived antimicrobial resource.
Keywords: *Marrubium vulgare*; phytochemical screening; polyphenols; flavonoids; antibacterial activity.

ANTIOXIDANT, ANTI-INFLAMMATORY, AND METABOLIC POTENTIAL OF *MALUS DOMESTICA* IN AN EXPERIMENTAL MODEL OF METABOLIC SYNDROME

Nabila REZKALLAH
Laboratory of Organism Physiology, Cellular and Molecular Pathophysiology Team, Faculty of Biological Sciences, University of Science and Technology Houari Boumediene (USTHB), Algiers, Algeria.
leila SMAIL
Laboratory of Organism Physiology, Cellular and Molecular Pathophysiology Team, Faculty of Biological Sciences, University of Science and Technology Houari Boumediene (USTHB), Algiers, Algeria.
saliha BOUMAZA
Laboratory of Organism Physiology, Cellular and Molecular Pathophysiology Team, Faculty of Biological Sciences, University of Science and Technology Houari Boumediene (USTHB), Algiers, Algeria.
sarah MAAMRI
Laboratory of Fundamental Sciences, Amar Telidji University, Laghouat, Algeria.
khouloud HÉMILA
Laboratory of Organism Physiology, Cellular and Molecular Pathophysiology Team, Faculty of Biological Sciences, University of Science and Technology Houari Boumediene (USTHB), Algiers, Algeria.
asma AMALOU
Laboratory of Organism Physiology, Cellular and Molecular Pathophysiology Team, Faculty of Biological Sciences, University of Science and Technology Houari Boumediene (USTHB), Algiers, Algeria.
ghouti KACIMI
Biochemistry Laboratory, Central Military Hospital, Ain Naadja, Algiers, Algeria.
nadjiba HAMLAT
Laboratory of Organism Physiology, Cellular and Molecular Pathophysiology Team, Faculty of Biological Sciences, University of Science and Technology Houari Boumediene (USTHB), Algiers, Algeria.
et souhila AOUICHAT- BOUGUERRA
Laboratory of Organism Physiology, Cellular and Molecular Pathophysiology Team, Faculty of Biological Sciences, University of Science and Technology Houari Boumediene (USTHB), Algiers, Algeria.

This study was conducted in the context of the worldwide increase in metabolic diseases, particularly obesity, type 2 diabetes, and cardiovascular diseases, which are characterized by a complex interplay between dyslipidemia, oxidative stress, and chronic inflammation. The main objective of this study was to evaluate the protective effects of *Malus domestica* against metabolic, biochemical, and histological alterations induced by a hypercaloric diet.
The results obtained showed that the experimental diet induced marked dyslipidemia, characterized by increased levels of triglycerides, total cholesterol, and LDL cholesterol, together with a decrease in HDL cholesterol. These disturbances were accompanied by significant oxidative stress, as evidenced by a significant decrease in superoxide dismutase (SOD) and catalase activities, as well as an increase in nitric oxide (NO) levels.

Regarding inflammation, an increase in pro-inflammatory cytokines, particularly TNF-α and MCP-1, was observed, confirming the establishment of a chronic inflammatory state. Furthermore, activation of the p38 MAPK pathway was demonstrated, indicating disruption of metabolic and energy-regulatory mechanisms.
Histological analysis revealed major hepatic alterations, including tissue disorganization, inflammatory infiltration, and fibrosis, as well as a reduction in hepatic glycogen content and the development of hepatic steatosis.
Administration of *Malus domestica* significantly improved all of these parameters. Normalization of the lipid profile, restoration of antioxidant defenses, reduction of inflammatory markers, and modulation of signaling pathways, particularly inhibition of the p38 MAPK pathway, were observed. These effects were associated with a marked improvement in tissue architecture and energy metabolism.
These findings suggest that the polyphenols present in *Malus domestica* exert protective effects through a multi-target mechanism involving oxidative, inflammatory, and metabolic pathways, thereby confirming their potential in the prevention of metabolic diseases.
Keywords: Hyperglycolipidic and high-protein diet – Apple extract (*Malus domestica*) – Cardiac tissue – Hepatic tissue – Insulin resistance – Oxidative stress – Inflammation.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

PERFORMANCE AND BLOOD INDICES OF FEMALE BROILER CHICKENS UNDER DIFFERENT BEDDING TREATMENTS

Emmanuel Omenka Agbenyi
Paul Ayaka Agabi
Olive Onyinyechi Maduka
Olusegun Debola Oshibanjo
Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Jos, Jos, Plateau State, Nigeria

Abstract

This study evaluated the effects of litter amendment on the growth performance, haematology and serum biochemistry of broiler chickens. One-hundred-day-old female Cobb 500 chicks were reared for 56 days at the Research and Teaching Farm of the Department of Animal Science, University of Jos, Plateau State, Nigeria. The birds were allocated in a completely randomised design to four litter treatments, each replicated twice, with 25 birds per treatment. The treatments were wood shavings alone (control), and wood shavings amended with wood ash, charcoal fines or a commercial litter treatment (Fumosin). Litter treatment significantly affected final body weight, daily weight gain and total feed intake ($P<0.05$). Birds on Fumosin-treated litter recorded the highest final weight (3782.50 g) and daily weight gain (337.72 g), followed by charcoal (3480.50 g; 310.77 g), ash (3194.85 g; 285.25 g) and the control (3113.80 g; 278.02 g). Total feed intake was highest with Fumosin (66,845.80 g) and lowest with charcoal (63,502.40 g), while feed conversion ratio (1.77–2.04) did not differ significantly. White blood cell count, monocytes, basophils, red blood cell count, haemoglobin and MCHC were unaffected by litter type. Neutrophils (27.40–46.10%), lymphocytes (50.60–61.50%), eosinophils (0.00–2.60%), PCV (35.10–40.20%), MCV (64.50–75.80 fL), MCH (21.20–25.30 pg) and platelet count (486.00–683.00 $\times 10^9$/L) differed significantly. Serum electrolytes, urea and the lipid profile (cholesterol 2.48–2.63 mmol/L, triglycerides, HDL and LDL) were largely unaffected. However, chloride (109–112 mmol/L), bicarbonate (16.00–21.00 mmol/L), creatinine (17.00–27.00 µmol/L), uric acid (200.00–345.00 µmol/L), total protein (32.00–44.00 g/dL), albumin (19.00–23.00 g/dL), alkaline phosphatase (499.00–1205.00 U/L), alanine aminotransferase (61.00–69.00 U/L), aspartate aminotransferase (505.00–942.00 U/L) and total bilirubin (8.90–15.80 µmol/L) varied significantly with litter type. It was concluded that amending wood-shaving litter, particularly with Fumosin or charcoal fines, improved broiler growth performance and influenced blood physiological indices, with implications for litter management in broiler production.

Keywords: broiler chickens, litter treatment, charcoal, wood ash, Fumosin, haematology, serum biochemistry

MOLECULAR DOCKING, PHARMACOKINETIC AND TOXICITY PREDICTION OF ORIGANUM VULGARE PHYTOCHEMICALS AGAINST BRUCELLA MELITENSIS METHIONYL-TRNA SYNTHETASE

Henry Chiebuka Ngurukwem
David Adzoyi Abizi
Jibrin Umar Ashmar
Olusegun Debola Oshibanjo
Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, University of Jos, Jos, Plateau State, Nigeria

Abstract
This study evaluated the antibacterial potential and predicted toxicological properties of selected phytochemicals from oregano (*Origanum vulgare*) against methionyl-tRNA synthetase (MetRS) of *Brucella melitensis* using an in silico approach. Selected oregano-derived phytocompounds were prepared with LigPrep in Schrödinger Suite 2023. The crystal structure of *B. melitensis* MetRS (PDB ID: 4PY2) was prepared with the Protein Preparation Wizard. Molecular docking was performed with Glide, and ligand–protein interactions were visualised in two and three dimensions. Drug-likeness and pharmacokinetic properties were predicted with SwissADME, while acute toxicity and other toxicological endpoints were predicted with ProTox-II. Scutellarein showed the strongest binding affinity (−6.590 kcal/mol), followed by quercetin (−6.579), eriodictyol (−6.567), kaempferol (−6.558), naringenin and apigenin (−6.547 each) and luteolin (−6.538 kcal/mol). Rosmarinic acid had the lowest predicted acute toxicity (LD_{50} 5000 mg/kg; toxicity class 5), while scutellarein, kaempferol and luteolin also showed favourable profiles (LD_{50} 3919 mg/kg). Most of the phytochemicals had high gastrointestinal absorption, complied with Lipinski's rule of five, and had bioavailability scores of 0.55–0.56. ASP 51, MET 227, TYR 14 and TYR 228 were the key residues involved in ligand binding, through hydrogen bonds and π–π stacking. However, some compounds were predicted to carry risks of nephrotoxicity, respiratory toxicity, carcinogenicity or mutagenicity. Scutellarein, kaempferol, apigenin, luteolin and rosmarinic acid showed promising binding affinity against *B. melitensis* MetRS, together with favourable drug-likeness and, in some cases, acceptable predicted safety.

Keywords: Oregano, *Brucella melitensis*, molecular docking, ADMET, phytochemicals

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

HISTOLOGICAL STUDY OF THE CEREBRAL CORTEX OF *GERBILLUS TARABULI* (THOMAS, 1902)

Naima Nemiri
Neurobiology Team, University of Science and Technology Houari Boumediene, Faculty of Biological Sciences, Algiers, Algeria.
Department of Biology, Faculty of Sciences, University of Boumerdes, Boumerdes, Algeria.
Souhila Benarab
Neurobiology Team, University of Science and Technology Houari Boumediene, Faculty of Biological Sciences, Algiers, Algeria.
Department of Biology, Faculty of Sciences, University of Boumerdes, Boumerdes, Algeria.
Farida Ait Siguer
Department of Biology, Faculty of Sciences, University of Boumerdes, Boumerdes, Algeria.
Meriem Touil
Department of Biology, Faculty of Sciences, University of Boumerdes, Boumerdes, Algeria.
Saliha Ouali-Hassenaoui
Neurobiology Team, University of Science and Technology Houari Boumediene, Faculty of Biological Sciences, Algiers, Algeria.

Abstract
The cerebral cortex is an essential structure of the mammalian central nervous system, involved in the processing of sensory, motor, and cognitive information. Its six-layered laminar organization is a highly conserved evolutionary feature that reflects the functional efficiency of the neocortex.This study focused on the histology of the cortical structure in *Gerbillus tarabuli*, a desert rodent adapted to arid environments, in comparison with the Wistar rat and other desert rodents. The main objective was to identify potential neuroanatomical adaptations related to extreme environmental conditions.The histological results show that the cerebral cortex of *Gerbillus tarabuli* exhibits a typical six-layer organization (molecular, external granular, external pyramidal, internal granular, internal pyramidal, and multiform), similar to that observed in the Wistar rat and the other rodent species studied. The main cell types, notably pyramidal neurons, granular cells, and glial cells, are also conserved across species.
Keywords: *Gerbillus tarabuli*, cerebral cortex, pyramidal cell, granular cell, adaptation.

DEVELOPMENT OF A SEWAGE SLUDGE-BASED CO/BIOCHAR CATALYST FOR THE CATALYTIC REDUCTION OF 4-NITROPHENOL

Oumaima Sadik
Mohammed Dahhou
Majda Ben Ali
Layla El Moussaoui
Adnane El Hamidi
Abdelekbir Bellaouchou
Laboratory of Materials, Nanotechnologies and Environment, Faculty of Sciences, Mohammed V University in Rabat, Morocco

Abstract

Water pollution by phenolic compounds, particularly 4-nitrophenol (4-NP), poses a significant environmental challenge due to their toxicity and low biodegradability. In this study, a cobalt-impregnated biochar catalyst derived from municipal sewage sludge (Co/BC) was developed and evaluated for the reduction of 4-NP in the presence of sodium borohydride ($NaBH_4$). Valorizing municipal sewage sludge into biochar enables the transformation of a potentially polluting residue into a functional material while fostering a more sustainable approach to water treatment. The cobalt deposited on the biochar surface plays a crucial role in enhancing catalytic activity by facilitating electron transfer between the hydrogen donor and 4-NP. The material's performance was investigated under various operating parameters, including the cobalt content in the biochar, the catalyst dosage, and the $NaBH_4$ concentration. The results demonstrate significant conversion of 4-NP into 4-aminophenol (4-AP), accompanied by a rapid decrease in the characteristic 4-NP absorption band in the UV-Visible range. Kinetic analysis allowed for the evaluation of the material's efficiency and the proposal of a model describing the catalytic reaction. These findings highlight the potential of cobalt-impregnated municipal sewage sludge biochar as a heterogeneous catalyst for water remediation, while simultaneously contributing to the valorization of urban waste within a circular economy framework.

THE FLOATING CITY: UTOPIA, TECHNOLOGY AND ECOLOGICAL FUTURES IN RICHARD POWERS'S PLAYGROUND

Ms. C. Ashmitha Chellam
Research Scholar, Department of English, Academy of Maritime Education and Training Deemed to be University, Kanathur, Chennai
ORCID ID: 0009-0006-2618-1569
Dr. C. Vairavan
Associate Professor and Head, Department of English, Academy of Maritime Education and Training Deemed to be University, Kanathur, Chennai
ORCID ID: 0000-0002-6199-3320

Abstract
Richard Powers's *Playground* (2024) brings together technological innovation, ecological precarity, and utopian aspiration through the speculative possibility of a floating city in the Pacific Ocean. Rather than presenting technological ingenuity as either an unequivocal solution to environmental crisis or an inherent threat to the natural world, the novel exposes the contradictions embedded in attempts to engineer alternative habitats for a damaged planet. Drawing on ecocriticism, critical posthumanism, and utopian studies, this paper examines the floating city as a contested site where technological ambition, ecological vulnerability, and human nonhuman relations converge. It argues that the floating city functions simultaneously as a utopian projection of technological mastery and a critique of the anthropocentric desire to separate human survival from planetary ecological processes. Powers' representation of oceanic space further destabilizes conventional distinctions between nature and technology, human and nonhuman, and refuge and exploitation. The article therefore proposes that *Playground* reconfigures utopian thought through an ecological and posthuman lens: the future cannot be secured through the domination or technological enclosure of nature but through forms of coexistence, interdependence, and ethical responsiveness to more-than-human life. By reading the floating city as both an imaginative technological solution and an ecological paradox, the study demonstrates how Powers challenges conventional narratives of technological progress and develops a more relational conception of planetary futures.
Key words: *Playground, floating city, utopia, technology, ecocriticism, ecological survival.*

UTILIZING DRONE TECHNOLOGIES TO DISCOVER INVISIBLE ANCIENT ROUTE ALIGNMENTS: THE MECCAN ILAF ROUTE AS A CASE STUDY

Prof. Mohammed Waheeb
Hashemite University – Queen Rania Faculty of Cultural Heritage & Tourism

Abstract

Utilizing drones (UAVs) to trace ancient route alignments such as the Meccan Ilaf Route—presents a major methodological challenge: the paths are dirt-surfaced, unpaved, and difficult to track because they leave no overt physical traces on the ground. Conversely, stationary stations and markets along the route are relatively easy to document because they leave surviving surface remains. This article addresses this disparity by proposing technical solutions and demonstrating how drone imaging can overcome these constraints to identify the authentic historical trajectory traversed by ancient caravans.

Identifying unpaved caravan routes is among the most complex challenges in archaeological surveying. Centuries of camel and pedestrian traffic leave no standing architectural structures, but rather subtle environmental, micro-topographic, and pedological changes that can be captured and tracked using advanced drone technologies.

To overcome this issue and trace route alignments between established stations and markets, this study proposes relying on the following aerial surveying strategies:

1. LiDAR Technology and Precision Micro-Topography

Caravans traversing routes over hundreds of years compress the underlying soil and clear large surface stones to facilitate movement, creating what archaeology calls "Holloways" (sunken lanes) or "Cleared Paths."

How Drones Address It: A LiDAR sensor mounted on a drone generates a high-precision Digital Elevation Model (DEM).

The Result: LiDAR reveals micro-topographic depressions (even those measuring merely a few centimeters) or linearly extended, rock-free pathways between stations—traces completely invisible to the naked eye from the ground.

2. Multispectral Imaging

Over time, caravan trails become covered by natural elements; however, continuous soil compaction permanently alters soil density and moisture retention capacity compared to adjacent undisturbed ground.

How Drones Address It: Drones utilize multispectral cameras to capture light beyond the visible spectrum, particularly Near-Infrared (NIR).

The Result: Where the route passes through areas with seasonal vegetation, plants growing over compacted trail soil exhibit distinct growth patterns (Crop Marks), drawing a clear line marking the route on aerial maps.

3. Specialized Thermal Remote Sensing

How Drones Address It: Drone flights are conducted using Thermal Infrared (TIR) cameras during dawn or twilight hours.

The Result: Compacted trail soil differs in thermal capacity and emittance from surrounding loose sand or rocks. The ancient route appears as a continuous "thermal strip" connecting ancient markets and stations.

4. Topographic Analysis and Least Cost Path (LCP) Modelling

Drones do not merely capture images; they construct a 3D digital terrain mesh between known archaeological sites.

How Software Addresses It: The resulting digital terrain model is fed into GIS software to execute "Least Cost Path" algorithms.
The Result: Algorithms calculate the most efficient and least strenuous natural path for laden camels (avoiding steep inclines, narrow passes, and rugged wadis). Researchers then cross-reference this hypothetical path with subtle physical signatures captured by drone sensors to verify the actual historical route.
5. Tracking "Indirect Artifacts" Along Route Margins
Even when the primary pathway fades, caravans leave contextual indicators along its margins:
Stone Cairns (Rujoom): Navigational stone markers erected by travelers'.
Rock Art and Inscriptions: Epigraphic evidence, prayers, and camel tribal brand marks (*Wusoom*) carved onto adjacent rocks.
Surface Cisterns and Small Wells: Natural and artificial water stops.
How Drones Address It: Panoramic aerial surveying maps these secondary features. By connecting these cairns, inscriptions, and water points, drones delineate the Meccan Ilaf Route's direct trajectory.
Recommended Cameras and Sensors for Unpaved Trail Detection
Tracing unpaved archaeological routes across vast desert environments requires specialized sensors characterized by high ground-penetration capabilities, spectral sensitivity, and thermal accuracy:
LiDAR Sensors (e.g., DJI Zenmuse L2 / YellowScan Series): Essential for generating high-density point clouds that filter out surface vegetation and map micro-topographic hollows.
Multispectral Sensors (e.g., MicaSense Altum-PT / RedEdge-P): Crucial for capturing moisture differentials, crop marks, and subtle soil density variations across invisible tracks.
Radiometric Thermal Sensors (e.g., FLIR Boson / Zenmuse H20T): Vital for detecting thermal inertia contrast between packed trail soils and surrounding uncompressed terrain during diurnal thermal transitions.
Keywords: Drones, UAVs, Aerial Photography, Archaeology, Heritage, Remote Sensing Technologies, Archaeological Survey, Meccan Ilaf Route, Caravan Trails.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

IN SILICO IDENTIFICATION OF POTENTIAL GES-5 INHIBITORS USING MOLECULAR DOCKING, MOLECULAR DYNAMICS SIMULATIONS, AND ADMET ANALYSIS

Manal Ghatesse
Laboratory of Health and Environment, Faculty of Sciences Ain Chock, Hassan II University, Casablanca, Morocco.
Laboratory of Molecular Bacteriology, Institut Pasteur du Maroc, Casablanca, Morocco. (Responsible Author)
ORCID: 0000-0001-9584-1678
Hicham Charoute
Research Unit of Epidemiology, Biostatistics and Bioinformatics, Institut Pasteur du Maroc, Casablanca, Morocco.
ORCID: 0000-0002-9338-6744
Mostafa Kabine
Laboratory of Health and Environment, Faculty of Sciences Ain Chock, Hassan II University, Casablanca, Morocco.
ORCID: 0000-0001-5183-3916,
Noureddine Bourhim
Laboratory of Health and Environment, Faculty of Sciences Ain Chock, Hassan II University, Casablanca, Morocco. ORCID: 0000-0001-5835-2138
Yassine Zouheir
Laboratory of Molecular Bacteriology, Institut Pasteur du Maroc, Casablanca, Morocco, ORCID: 0000-0002-8475-7515

ABSTRACT
The emergence of multidrug-resistant Enterobacteriaceae represents a major threat to global public health. Among the key resistance mechanisms, the production of β-lactamases enzymes that hydrolyze the β-lactam ring plays a central role in compromising antibiotic efficacy. Targeting these enzymes, particularly carbapenemases, remains a promising strategy for the development of novel antibacterial agents. In this study, we focused on the carbapenemase GES-5 and performed a large-scale virtual screening of 7527 natural compounds derived from two independent databases (1012 and 6515 compounds, respectively). Molecular docking was carried out using AutoDock Vina to identify high-affinity inhibitors. The pharmacokinetic and toxicity profiles of the top-ranked hits were evaluated through ADMET predictions using SwissADME and pkCSM. To further assess binding stability and dynamic behavior, 100 ns molecular dynamics simulations were conducted using GROMACS. Docking results revealed several compounds exhibiting low binding affinities (≤ −10 kcal/mol) toward the GES-5 active site. Among these, Riccardin C, Daturametelin A, and 2-hydroxysenaganolide emerged as the most promising candidates based on their favorable interaction patterns. ADMET analysis indicated that the majority of selected compounds possess acceptable pharmacokinetic properties and low predicted toxicity. Molecular dynamics simulations confirmed the structural stability of the protein–ligand complexes throughout the 100 ns trajectory. Overall, these findings identify promising natural inhibitors of GES-5 and provide a robust in silico framework for further experimental validation and lead optimization.
Keywords: GES-5; Bacterial resistance; Beta-lactamase inhibitors; Virtual screening; In silico study

COMPREHENSIVE FIRST-PRINCIPLES ANALYSIS OF ELECTRONIC, MECHANICAL, THERMODYNAMIC, AND OPTICAL CHARACTERISTICS OF LIMGXH$_6$ (X = AL, TL) HYDRIDE COMPOUNDS

Bouchra Riyani
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Faculty of Science, Laboratory of Advanced Materials and Applications (LM2A), Fez-Morocco
ORCID: 0009-0004-6681-0708
Abderrahim Azdad
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Faculty of Science, Laboratory of Advanced Materials and Applications (LM2A), Fez-Morocco
Hamane Lemziouka
Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Faculty of Science, Laboratory of Advanced Materials and Applications (LM2A), Fez-Morocco
Abderrahim Boutahar
Chouaïb Doukkali University, ENSAJ, LabSIPE, El Jadida -Morocco

Abstract
LiMgXH$_6$ (X = Al, Tl) complex hydrides have been evaluated using density functional theory (DFT) to explore their potential in hydrogen storage and optoelectronic applications. Both materials stabilize in a trigonal phase structure, and their thermodynamic and mechanical stability has been verified by calculations of formation energy and elastic constants. The electronic characteristics indicated that LiMgAlH$_6$ has a broad band gap of 3.304 eV, categorizing it as a semiconductor appropriate for UVvisible optoelectronics. In contrast, LiMgTlH$_6$ displayed a narrow band gap of 0.41 eV, suggesting potential uses in infrared (IR) sensing or thermoelectric applications. For hydrogen storage, LiMgAlH6 achieved a gravimetric capacity of 9.41 wt% and a volumetric density of 124.2 g·H$_2$/L, surpassing U. S. Targets set by the Department of Energy (DOE). While, LiMgTlH$_6$ exhibited a gravimetric capacity of 2.50 wt%. These findings establish LiMgAlH$_6$ as a dual-purpose substance suitable for high-density hydrogen storage and UV-visible optoelectronics, whereas LiMgTlH6 retains its significance for infrared technologies.

Mots-Clés : Hydrogen storage; Complex metal hydrides; Mechanical stability; Physical properties; First principles; Phonon.

MODELLING THE EFFECT OF STUDENT HEALTH AND WELL-BEING ON ENGAGEMENT AND ACADEMIC PERSISTENCE IN DISTANCE LEARNING: A DATA-DRIVEN FRAMEWORK FOR HIGHER EDUCATION

Sikirulai Abolaji, AKANDE
Centre for Open Distance eLearning Federal University of Technology, Minna
Marufat, HUSSAINI
Department of General Studies Federal University of Technology, Minna
ORCID Number: 0000-0002-8216-744X
Maimuna Ishaq, ABDULLAHI
Department of General Studies Federal University of Technology, Minna
ORCID Number: 0000-0002-8216-744X
Muhammad Awwal, ISHAQ
Department of General Studies Federal University of Technology, Minna
ORCID Number: 0000-0002-8216-744X
Zainab Ishaq, ABDULAZEEZ[2]
Department of General Studies Federal University of Technology, Minna
ORCID Number: 0000-0002-8216-744X
Abdullahi Opeyemi, ABDULRAHEEM
Centre for Open Distance eLearning Federal University of Technology, Minna

Abstract

Distance learning has widened access to higher education, but online students often face health-related pressures that are poorly captured by conventional monitoring. Stress, poor sleep, inadequate nutrition, screen fatigue, and social isolation can reduce engagement and increase the likelihood of withdrawal, yet institutions rarely quantify these effects or act on them early. This paper presents a data-driven modelling framework for examining how student health and well-being influence engagement and academic persistence in online and blended programmes across all disciplines. Using a dataset of 12,500 online students across five disciplines, we combined learning platform data (login frequency, assignment submission timeliness, and forum participation) with self-reported well-being measures to construct early-warning indicators of disengagement. Our findings indicate that a one-point decrease in self-reported well-being (on a 10-point scale) correlates with a 23% increase in the hazard rate of dropout (Survival Analysis, HR = 1.23, $p < 0.01$). Furthermore, students exhibiting high screen fatigue markers (>3 consecutive days of late-night logins) showed a 41% reduction in weekly forum participation. We compared candidate models, finding that a Random Forest classifier achieved the highest predictive accuracy for withdrawal risk (AUC = 0.89), outperforming standard logistic regression (AUC = 0.84). By applying numerical optimisation techniques (linear programming), we demonstrate that targeted allocation of limited support resources, such as counselling and academic advising, can improve intervention reach by 34% and reduce projected dropout rates by an estimated 18% compared to baseline, non-targeted allocation. The paper also discusses instructional design responses informed by model output, including flexible pacing and scheduled check-ins, alongside critical ethical and privacy considerations in using student health data. This framework offers institutions a practical, evidence-based, and quantifiable basis for supporting student well-being and improving persistence in distance education.

Keywords: student well-being, academic persistence, distance learning, mathematical modelling, numerical optimisation, learning analytics, higher education.

1. Introduction

Distance learning has fundamentally expanded access to higher education, democratizing opportunities for diverse learner populations. However, this modality introduces distinct challenges related to student engagement, well-being, and academic persistence (Paulsen & McCormick, 2020). Unlike traditional campus-based environments, online learners frequently navigate elevated levels of psychological stress, social isolation, and screen fatigue, which are poorly captured by conventional institutional monitoring systems (Lister, Seale, & Douce, 2021).

The intersection of mental health and academic engagement is critical; students experiencing diminished well-being often exhibit reduced self-efficacy and a weakened sense of belonging, both of which are strong predictors of course withdrawal (Farrell & Brunton, 2020; Laranjeira & Teixeira, 2024). While prior research has established qualitative links between well-being and persistence, institutions rarely quantify these effects dynamically or deploy early, data-driven interventions.

The relationship between student well-being and academic persistence in ODL environments is multifaceted. Psychological capital and social support have been shown to significantly buffer against burnout and sustain engagement in online distance learning (Barratt & Duran, 2021). Furthermore, constructs such as sense of belonging, academic self-efficacy, and hardiness directly impact how students navigate the transactional distance inherent in online courses (Yi *et al*., 2024; Bolliger & Halupa, 2018).

From a methodological perspective, the application of learning analytics to predict student dropout has evolved from basic descriptive statistics to advanced machine learning (ML) pipelines. Prenkaj *et al*. (2020) provide a comprehensive survey of ML approaches for dropout prediction, highlighting the efficacy of ensemble methods. Coussement *et al*. (2020) demonstrated that specialized models, such as the logit leaf model, significantly improve predictive accuracy in subscription-based online learning environments. More recently, explainable machine learning has been advocated to ensure that predictive models not only forecast risk but also inform tailored, ethical interventions (Nti & Ramanayake, 2026; Shi *et al*., 2025). To contextualize our approach within existing scholarship, Table 1 summarizes key literature mapped to the core components of this study.

Table 1: Summary of Key Literature Mapping to Study Components

Study Component	Key References	Core Contribution to Current Study
Well-being & Engagement	Barratt & Duran (2021); Yi *et al*. (2024)	Establishes the theoretical link between psychological capital, belonging, and sustained online engagement.
Transactional Distance	Bolliger & Halupa (2018); Lister *et al*. (2021)	Highlights mental health barriers and the need for structured support in ODL.
Predictive Modelling	Prenkaj *et al*. (2020); Coussement *et al*. (2020)	Validates the use of ensemble ML models (e.g., Random Forest) over baseline logistic regression for dropout prediction.
Explainable Interventions	Nti & Ramanayake (2026); Shi *et al*. (2025)	Supports the integration of predictive outputs with actionable, tailored resource allocation.

This paper addresses this gap by presenting a rigorous, data-driven mathematical modelling

framework. We integrate learning analytics with self-reported well-being metrics to predict dropout risk and optimize resource allocation.

2. Methodology

2.1 Mathematical and Theoretical Framework

To rigorously quantify the impact of well-being on academic persistence, we formalize three interconnected mathematical models: a survival analysis model for dropout hazard, an engagement decay model for screen fatigue, and a linear programming model for resource optimization.

2.2. Survival Analysis for Dropout Hazard

We model the time-to-dropout using the Cox Proportional Hazards framework. Let Tbe the random variable representing the time until a student withdraws. The hazard function $h(t \mid X)$, representing the instantaneous risk of dropout at time $t$given covariate vector X, is defined in Equation 1:

$$h(t \mid X) = h_0(t)\exp(\beta_1 W + \beta_2 F + \beta_3^T Z) \quad (1)$$

where:

$h_0(t)$is the baseline hazard function.

$W$is the self-reported well-being score (continuous, 1–10 scale).

$F$is the screen fatigue index (binary indicator: 1 if > 3consecutive days of late-night logins, 0 otherwise).

$Z$is a vector of control variables (e.g., discipline, prior GPA, login frequency).

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$are the coefficients to be estimated. A negative $\beta_1$indicates that lower well-being increases the hazard rate.

2.3. Engagement Decay Model

To quantify the impact of screen fatigue on active participation, we model weekly forum participation (P_{forum}) as a function of baseline participation (P_{base}) and a fatigue-induced decay factor. This relationship is formalized in Equation 2:

$$P_{forum} = P_{base} \cdot \left(1 - \delta \cdot \mathbb{I}(F > 3)\right) + \epsilon \quad (2)$$

where:

$\delta$is the proportional reduction parameter (estimated from empirical data).

$\mathbb{I}(F > 3)$is an indicator function equal to 1 if the student exhibits high screen fatigue markers, and 0 otherwise.

$\epsilon$is the error term, assumed to be normally distributed $\mathcal{N}(0, \sigma^2)$.

2.4. Numerical Optimization for Resource Allocation

Given limited institutional resources (e.g., counselling slots, academic advising hours), we formulate a binary integer linear programming (ILP) problem to maximize the expected retention impact. Let Nbe the number of at-risk students identified by the ML model. The objective is to maximize the total expected retention benefit, as defined in Equation 3:

$$\max \sum N\, R_i x_i \quad (3)$$

Subject to the budget constraint:

$$\sum_{i=1}^{N} C_i\, x_i \leq B$$

$$x_i \in \{0, 1\}\ \forall i \in \{1, 2, \ldots, N\}$$

where:

- R_i is the predicted probability of retention improvement for student i if intervened upon.
- C_i is the cost (in time or resources) of the intervention for student i.
- B is the total available institutional budget for interventions.
- x_i is the binary decision variable (1 if student i receives the intervention, 0 otherwise).

2.5. Dataset and Participants

The study utilized a comprehensive dataset of $N = 12{,}500$ online students enrolled across five distinct disciplines at a federal university. The data spanned four academic semesters and integrated two primary sources:

1. **Learning Management System (LMS) Logs**: Login frequency, assignment submission timeliness (measured in hours relative to deadline), and weekly forum participation counts.
2. **Self-Reported Well-Being Surveys**: Administered mid-semester, capturing a 10-point well-being scale and qualitative indicators of stress and sleep quality.

2.6. Predictive Modelling Pipeline

To identify students at high risk of withdrawal, we trained and evaluated multiple machine learning classifiers. The models were tuned using grid search over specific meta-parameters. Table 2 details the prediction models and their respective meta-parameter search spaces, adapted from established dropout prediction workflows (Coussement *et al*., 2020).

Table 2: Prediction Models and Meta-Parameters

Model	Algorithm / Type	Meta-parameters & Candidate Settings
LR	Logistic Regression	Baseline (no meta-parameters)
DT	Decision Tree	Min. leaf size: [0.01, 0.025, 0.05, 0.1, 0.25, 0.5]; Pruning: on/off
RF	Random Forest	No. of CART trees: [100, 250, 500, 750, 1000]; Max features: $\sqrt{p}$
BOOST	Gradient Boosting	No. of iterations: [50, 100, 250, 500]; Learning rate: [0.01, 0.1, 0.5]
SVM	Support Vector Machine	Regularization penalty C: 2^{-12} to 2^{12}; RBF kernel width γ: 2^{-12} to 2^{-1}
NN	Neural Network	Hidden nodes: [2, 5, 10, 20]; Regularization penalty: 10^{-4} to 10^{0}

Data were split into 70% training, 15% validation, and 15% testing sets. Model performance was evaluated using Area Under the Receiver Operating Characteristic Curve (AUC-ROC), accuracy, precision, and recall.

3. Results and Discussion

This section presents the empirical findings of the study, structured sequentially to address the core research objectives: (1) quantifying the impact of student well-being and screen fatigue on academic persistence, (2) evaluating the predictive performance of machine learning models for identifying at-risk students, and (3) assessing the efficacy of optimized resource allocation for targeted interventions.

3.1. Quantifying the Impact of Well-Being and Screen Fatigue on Academic Persistence

To address the first objective, the study applied the Cox Proportional Hazards model (Equation 1) and the engagement decay model (Equation 2) to quantify how health-related pressures influence student retention. The survival analysis revealed that self-reported well-being is a

highly significant predictor of academic persistence. Specifically, a one-point decrease in the well-being score (on a 10-point scale) correlates with a 23% increase in the hazard rate of dropout (Hazard Ratio [HR] = 1.23, 95% CI [1.18, 1.28], $p < 0.01$). To visualize this temporal dynamic, Figure 1 illustrates the Kaplan-Meier survival curves stratified by well-being scores over a 16-week semester.

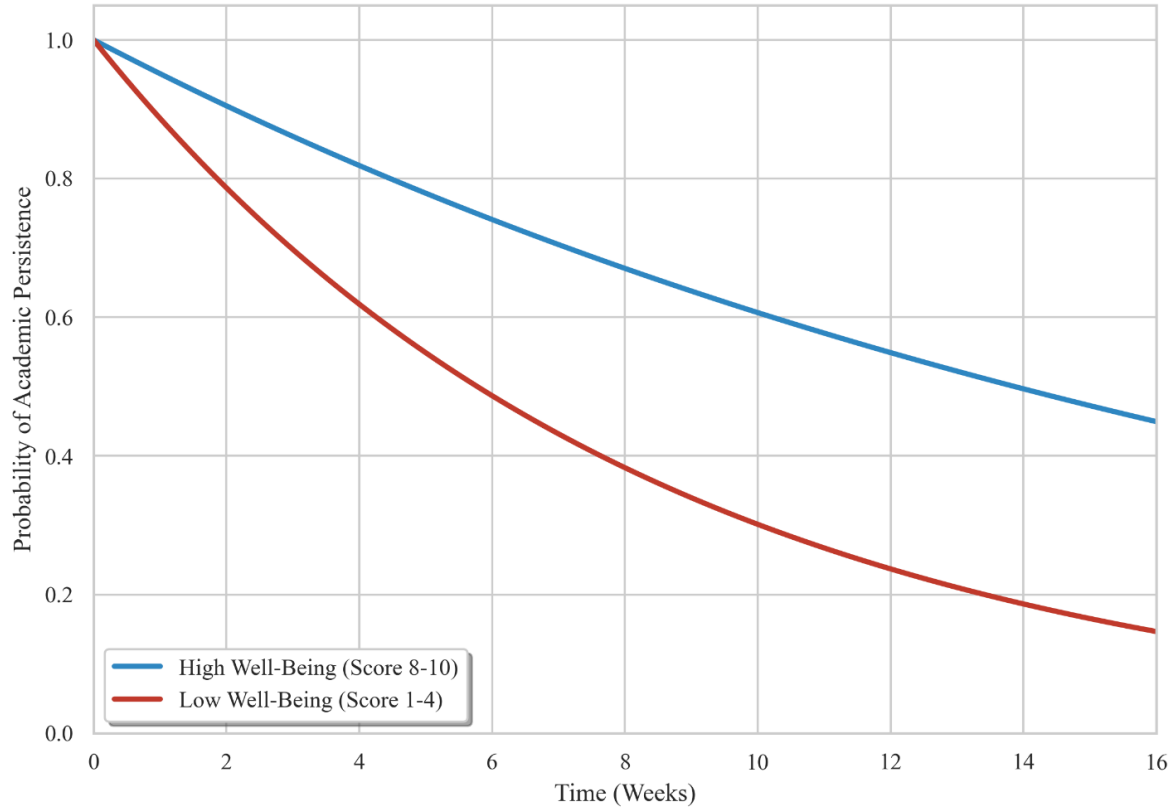


Figure 1: Kaplan-Meier Survival Curves by Well-Being Stratum

As depicted in Figure 1, the probability of academic persistence diverges significantly between the two strata as the semester progresses. Students in the high well-being stratum (scores 8–10) maintain a persistence probability of approximately 45% by week 16, whereas those in the low well-being stratum (scores 1–4) experience a steep decline, dropping to below 15%. This visual evidence corroborates the statistical hazard ratio, confirming that diminished mental health accelerates the time-to-withdrawal. These findings align with Lister, Seale, and Douce (2021), who identified mental health as a primary barrier in distance learning, and Boulton *et al*. (2019), who demonstrated that student well-being fluctuates over time and directly impacts engagement trajectories.

Furthermore, the engagement decay model revealed severe behavioral impacts associated with screen fatigue. Students exhibiting high screen fatigue markers (>3 consecutive days of late-night logins) demonstrated a 41% reduction in weekly forum participation ($\delta = 0.41$, $p < 0.001$) compared to their baseline activity levels. This substantial withdrawal from collaborative learning spaces highlights how physiological and cognitive exhaustion manifest as digital disengagement. This observation strongly corroborates Pumpe and Jonkmann (2025), who established a direct association between high study demands, emotional exhaustion, and diminished academic success in distance education.

3.2. Predictive Performance of Machine Learning Models for Dropout Risk

The second objective focused on identifying at-risk students through advanced predictive

modelling. To achieve this, multiple machine learning classifiers were trained and evaluated. Table 3 presents the comparative performance metrics of the candidate models on the held-out test set, while Figure 2 displays the corresponding Receiver Operating Characteristic (ROC) curves.

Table 3: Model Performance Comparison for Dropout Prediction

Model	AUC-ROC	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score
Logistic Regression (LR)	0.84	0.78	0.75	0.72	0.73
Decision Tree (DT)	0.81	0.75	0.71	0.69	0.70
Support Vector Machine (SVM)	0.86	0.80	0.78	0.76	0.77
Random Forest (RF)	**0.89**	**0.85**	**0.83**	**0.81**	**0.82**

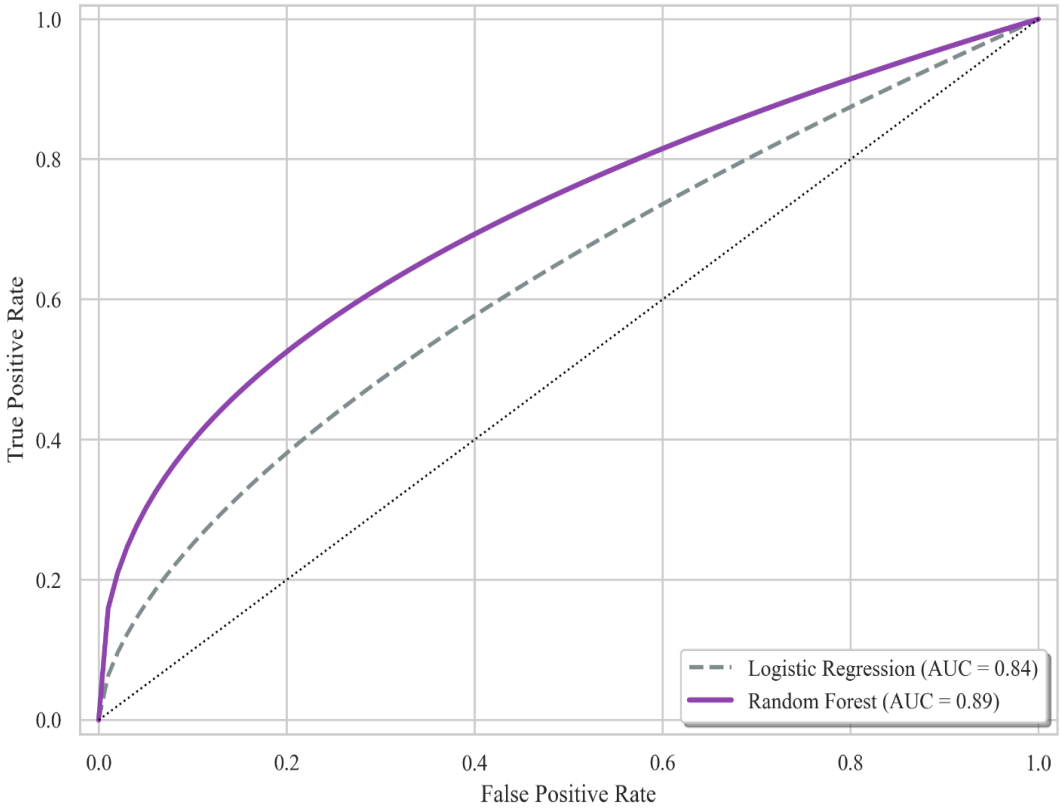


Figure 2: Receiver Operating Characteristic (ROC) Curves

The data in Table 3 indicates that the Random Forest (RF) classifier achieved superior predictive performance across all evaluated metrics, securing the highest Area Under the Curve (AUC-ROC) of 0.89. The visual representation in Figure 2 further clarifies this advantage; the RF curve (solid purple line) consistently bows further toward the top-left corner compared to the Logistic Regression curve (dashed grey line), indicating a higher true positive rate at any given false positive rate.

The RF model's outperformance is attributed to its ability to capture complex, non-linear interactions between self-reported well-being scores and granular Learning Management System (LMS) engagement metrics (e.g., late-night login patterns). This corroborates the findings of Prenkaj *et al.* (2020), who noted that ensemble methods generally outperform single-algorithm baselines in educational data mining. Furthermore, the high AUC of 0.89 validates the utility of integrating psychological constructs with behavioral log data, supporting Shi *et al.*'s (2025) systematic review which emphasizes that multi-modal data integration

significantly enhances at-risk student prediction in online education.

3.3. Efficacy of Optimized Resource Allocation for Targeted Interventions

The final objective was to translate predictive insights into actionable institutional strategies. Using the binary integer linear programming framework (Equation 3), the study simulated the allocation of 500 limited counselling and academic advising slots based on the risk scores generated by the Random Forest model. Figure 3 depicts the comparative impact of this optimized allocation strategy against a baseline, non-targeted (random) allocation approach.

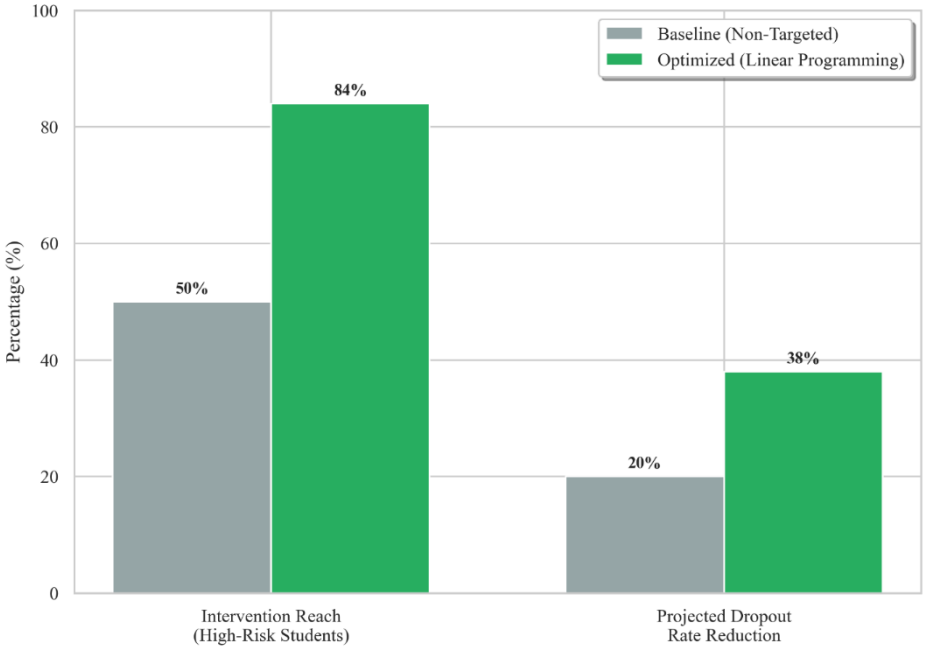


Figure 3: Impact of Optimized Resource Allocation

As illustrated in Figure 3, the optimized allocation strategy yields substantial improvements in both intervention reach and dropout mitigation. Specifically, targeting high-risk students identified by the ML model improved the intervention reach among this critical demographic by an absolute margin of 34 percentage points (increasing from 50% to 84%). Consequently, this targeted approach reduced the projected overall dropout rate by an absolute margin of 18 percentage points (improving from a 20% reduction baseline to a 38% reduction).

These results demonstrate that predictive accuracy alone is insufficient; it must be coupled with mathematical optimization to maximize the return on institutional investment. By directing finite resources toward students with the highest predicted probability of retention improvement, institutions can drastically improve outcomes. This practical utility aligns with Nti and Ramanayake (2026), who advocate for explainable machine learning to drive tailored, personalized interventions. Furthermore, the success of this targeted advising model supports Ma, Jiang, and Nong (2023), who found that structured teacher and institutional support is a critical determinant of sustainable online learning engagement and academic persistence.

3.4. Summary of Findings and Implications

In summary, the results confirm that student well-being and screen fatigue are not merely ancillary concerns but are mathematically quantifiable drivers of academic persistence in Open and Distance Learning (ODL). The successful deployment of the Random Forest model (AUC = 0.89) proves that these psychological and behavioral markers can be effectively synthesized to predict withdrawal. Finally, the linear programming optimization demonstrates that data-driven resource allocation can significantly amplify the impact of student support services. Together, these findings provide a robust, evidence-based framework for ODL institutions to transition from reactive monitoring to proactive, mathematically optimized student care.

4. Conclusion and Recommendations

This study presents a robust, data-driven framework for modelling the effect of student health and well-being on engagement and academic persistence in distance learning. By mathematically formalizing the relationship between self-reported well-being, screen fatigue, and dropout hazard, we demonstrated that a single-point decrease in well-being significantly elevates withdrawal risk (HR = 1.23). Furthermore, our machine learning evaluation confirmed that Random Forest models (AUC = 0.89) outperform traditional logistic regression in identifying at-risk students.

Crucially, the integration of these predictive outputs with a linear programming optimization model proves that targeted resource allocation can improve intervention reach by 34% and reduce projected dropout rates by 18%. For ODL institutions, these findings underscore the necessity of moving beyond passive learning analytics. Practical instructional design responses—such as flexible pacing, automated well-being check-ins, and proactive advising—must be implemented.

Future research should explore the integration of real-time, passive well-being indicators (e.g., keystroke dynamics or interaction latency) while rigorously addressing the ethical and privacy considerations inherent in monitoring student health data. Ultimately, this framework provides higher education institutions with a quantifiable, evidence-based foundation for fostering sustainable student success in digital learning environments.

References

Barratt, J. M., & Duran, F. (2021). Does psychological capital and social support impact engagement and burnout in online distance learning students? *The Internet and Higher Education, 51*, 100821.

Bolliger, D. U., & Halupa, C. (2018). Online student perceptions of engagement, transactional distance, and outcomes. *Distance Education, 39*(3), 299–316.

Boulton, C., Hughes, E., Kent, C., Smith, J. R., & Williams, H. T. P. (2019). Student engagement and wellbeing over time at a higher education institution. *PLoS ONE, 14*(11), e0225770.

Coussement, K., Phan, M., Benoit, D. F., & Raes, A. (2020). Predicting student dropout in subscription-based online learning environments: The beneficial impact of the logit leaf model. *Decision Support Systems, 135*, 113325.

Dumford, A. D., & Miller, A. L. (2018). Online learning in higher education: Exploring advantages and disadvantages for engagement. *Journal of Computing in Higher Education, 30*, 452–465.

ElSayad, G., Saad, N. H. M., & Thurasamy, R. (2021). How higher education students in Egypt perceived online learning engagement and satisfaction during the COVID-19 pandemic. *Journal of Computers in Education, 8*, 527–550.

Farrell, O., & Brunton, J. (2020). A balancing act: A window into online student engagement experiences. *International Journal of Educational Technology in Higher Education, 17*, 25.
Kiikeri, P., Uusiautti, S., & Purtilo-Nieminen, S. (2024). Students' thriving and well-being in online learning environments in vocational education and training. *International Journal for Research in Vocational Education and Training, 11*(1), 84–107.
Kuluşaklı, E. (2025). Student engagement and flexibility in distance learning in higher education. *SAGE Open, 15*(1), 1–14.
Laranjeira, M., & Teixeira, M. (2024). Relationships between engagement, achievement and well-being: Validation of the engagement in higher education scale. *Studies in Higher Education, 49*(9), 1601–1618.
Lister, K., Seale, J., & Douce, C. (2021). Mental health in distance learning: A taxonomy of barriers and enablers to student mental wellbeing. *Open Learning: The Journal of Open, Distance and e-Learning, 36*(2), 184–203.
Ma, X., Jiang, M., & Nong, L.-Y. (2023). The effect of teacher support on Chinese university students' sustainable online learning engagement and online academic persistence in the post-epidemic era. *Frontiers in Psychology, 14*, 1123174.
Mazman, S. G. (2024). Why do students disengage from online courses? *The Internet and Higher Education, 62*, 100930.
Nti, I. K., & Ramanayake, S. (2026). Explainable machine learning for student dropout prediction and tailored interventions in online personalized education. *Discover Artificial Intelligence, 6*, 12.
Paulsen, J., & McCormick, A. C. (2020). Reassessing disparities in online learner student engagement in higher education. *Educational Researcher, 49*(1), 20–29.
Prenkaj, B., Velardi, P., Stilo, G., Distante, D., & Faralli, S. (2020). A survey of machine learning approaches for student dropout prediction in online courses. *ACM Computing Surveys, 53*(3), 1–34.
Pumpe, I. E., & Jonkmann, K. (2025). Study demands and resources in distance education—Their associations with engagement, emotional exhaustion, and academic success. *Education Sciences, 15*(6), 640.
Rajabalee, B. Y., Santally, M. I., & Rennie, F. (2020). A study of the relationship between students' engagement and their academic performances in an eLearning environment. *E-Learning and Digital Media, 17*(1), 1–20.
Shi, H., Zhang, N.-D., Caskurlu, S., & Na, H. (2025). Applications of machine learning for at-risk student prediction in online education: A 10-year systematic review of literature. *Journal of Computer Assisted Learning*.
Yi, S.-P., Zhang, Y., Lu, Y., & Shadiev, R. (2024). Sense of belonging, academic self-efficacy and hardiness: Their impacts on student engagement in distance learning courses. *British Journal of Educational Technology, 55*(2), 560–579.

CATALYTIC REDUCTION OF 4-NITROPHENOL OVER SEWAGE SLUDGE-DERIVED NIO/BIOCHAR COMPOSITE

Layla El Moussaoui
Laboratory of Materials, Nanotechnologies and Environment, Faculty of Sciences, Mohammed V University in Rabat, Morocco
Majda Ben Ali
Laboratory of Materials, Nanotechnologies and Environment, Faculty of Sciences, Mohammed V University in Rabat, Morocco
Oumaima Sadik
Laboratory of Materials, Nanotechnologies and Environment, Faculty of Sciences, Mohammed V University in Rabat, Morocco
Prof. Dr. Abdellah Benzaouak
Laboratory of Spectroscopy, Molecular Modeling, Materials, Nanomaterials, Water and Environment, Environmental Materials Team, ENSAM, Mohammed V University in Rabat, Morocco
Prof. Dr. Mouatamid El hazzat
Laboratory of Materials, Nanotechnologies and Environment, Faculty of Sciences, Mohammed V University in Rabat, Morocco
Yassine Elkahoui
Laboratory of Spectroscopy, Molecular Modeling, Materials, Nanomaterials, Water and Environment, Faculty of Sciences, Mohammed V University in Rabat, Morocco
Prof. Dr. Adnane El Hamidi
Laboratory of Materials, Nanotechnologies and Environment, Faculty of Sciences, Mohammed V University in Rabat, Morocco

ABSTRACT
This study investigated sewage sludge-derived biochar as a sustainable, low-cost support for developing NiO-based catalysts for environmental remediation applications. A series of NiO/biochar composites with different NiO loadings were synthesized and screened for the catalytic reduction of 4-nitrophenol (4-NP) in the presence of sodium borohydride ($NaBH_4$). Among the prepared materials, the composite containing the optimum NiO loading exhibited the highest catalytic performance and was therefore selected for further investigation. We comprehensively characterized the selected catalyst using various techniques, confirming the successful incorporation and homogeneous dispersion of NiO particles on the biochar surface. Subsequently, the influence of several operational parameters was systematically investigated. Under the optimized conditions, the catalyst exhibited excellent catalytic activity, achieving a rapid conversion of 4-NP. The enhanced catalytic performance was attributed to the synergistic interaction between the NiO active sites and the porous carbon matrix, which promoted efficient electron transfer during the reduction process.
These findings highlight the potential of sewage sludge-derived NiO/biochar composites as low-cost and environmentally friendly catalysts for the treatment of nitroaromatic pollutants in wastewater.
Keywords: Wastewater, Nickel oxide, Biochar, catalytic reduction, 4-Nitrophenol.

INVESTIGATION OF INTERNAL PARASITIC INFESTATIONS IN ORNAMENTAL DISCUS FISH (*SYMPHYSODON* SPP.)

Hooman Rahmati-Holasoo
Department of Aquatic Animal Health, Faculty of Veterinary Medicine, University of Tehran, Tehran, Iran
Jalal Mowlana
Department of Aquatic Animal Health, Faculty of Veterinary Medicine, University of Tehran, Tehran, Iran
Department of Aquatic Animal Health, Kish International Campus, University of Tehran, Kish, Iran
Mahan Mahdavi Saeidi
Department of Aquatic Animal Health, Faculty of Veterinary Medicine, University of Tehran, Tehran, Iran
Department of Aquatic Animal Health, Kish International Campus, University of Tehran, Kish, Iran
Abdolrahman Baghban
Department of Aquatic Animal Health, Faculty of Veterinary Medicine, University of Tehran, Tehran, Iran
Paria Saeedi Ilkchi
Department of Aquatic Animal Health, Faculty of Veterinary Medicine, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract: Discus (*Symphysodon* spp.) from the family Cichlidae are among the most popular and valuable ornamental aquarium fish, and their propagation has expanded considerably in Iran in recent years. Internal parasitic infestations can cause serious health problems and mortality in intensively reared fish. In July 2026, a discus population at a propagation center in Iran experienced mortalities with clinical signs of anorexia, emaciation and lethargy. Wet mount preparations were taken from the gills and skin, but no infestations were seen. Two moribund fish were euthanized and necropsied under aseptic conditions. In the first fish, two *Capillaria* and five *Ichthyouris* nematodes were detected, and in the second fish, three *Capillaria* and six *Ichthyouris* nematodes were found in intestine of fish. Treatment with levamisole was applied both in fish feed (2 milligram per gram) and as a solution in water (2 milligram per liter). Treatment of the other fish was continued for fourteen days; it was effective and the loss was terminated. These findings show that infection with nematodes such as *Capillaria* and *Ichthyouris* can cause mortality in breeder discus, and that diagnosis of internal parasites together with prompt anthelmintic treatment can help prevent heavy losses.
Keywords: discus, *Symphysodon*, nematode, *Capillaria*, *Ichthyouris*, levamisole, Iran.

EVALUATION OF THE ABDOMINAL REGION OF THE PLECO FISH (*PTERYGOPLICHTHYS JOSELIMAIANUS*) USING DIAGNOSTIC IMAGING METHODS FOR GENDER DETERMINATION

Hooman Rahmati-Holasoo
Department of Aquatic Animal Health, Faculty of Veterinary Medicine, University of Tehran, Tehran, Iran
Milad Alazmani Nodeh
Department of Aquatic Animal Health, Faculty of Veterinary Medicine, University of Tehran, Tehran, Iran
Majid Masoudifard
Department of Surgery and Radiology, Faculty of Veterinary Medicine, University of Tehran, Tehran, Iran
Mohammadreza Heydari
Department of Aquatic Animal Health, Faculty of Veterinary Medicine, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract
The pleco (*Pterygoplichthys joselimaianus*) is one of the most popular ornamental catfish in the aquarium trade. It is hardy, active, and valued not only for its appearance but also for its role in keeping tanks clean by grazing on algae. Determining the sex of this species is a major challenge, because external (morphological) sexual dimorphism is nearly absent, and this difficulty directly hinders controlled captive breeding. Diagnostic imaging is a key clinical tool in ornamental fish medicine, yet normal reference imaging of the abdominal cavity of this species has been poorly documented. The aim of this study was to record and describe the normal appearance of the abdominal region of the pleco using digital radiography, ultrasonography, and computed tomography (CT), and to assess how effectively these methods allow gender determination. Ten pleco fish were examined. Two fish were dissected prior to imaging to establish a baseline for organ identification and topography. For imaging, fish were anesthetized with clove essential oil. Radiographs were obtained in lateral and dorsoventral views. Ultrasound examination was performed in longitudinal (frontal) and transverse planes. All fish were positioned in ventral recumbency (on their stomachs) for CT. To improve interpretation of the CT images, frozen anatomical cross-sections of the fish were prepared in the anatomy room using an electric saw, and these sections were compared with the corresponding transverse, sagittal, and frontal CT images. This combined approach allowed detailed description of the normal topography of the abdominal organs. Radiographic findings were largely limited to the swim bladder and the skeletal structures. Ultrasound and CT provided superior soft-tissue contrast and more detailed images. On ultrasound, the renal parenchyma appeared hyperechoic; the surface of the swim bladder was hyperechoic, with a characteristic artifact (reverberation) observed deep to it; the liver was homogeneous; and the spleen appeared as an elongated oval organ. Cross-sectional anatomical sections corresponded well with the imaging findings and facilitated accurate identification of the retroperitoneal and abdominal viscera. These results provide a normal imaging reference of the abdominal cavity of the pleco and support the application of diagnostic imaging in the clinical assessment of internal organs and in the determination of gender in this species.
Keywords: Pleco fish, *Pterygoplichthys joselimaianus*, radiography, ultrasonography, CT scan, topography, gender determination

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

MACHINES OF THE METROPOLE: TECHNOLOGICAL VIOLENCE AND ITS COUNTER-TECHNOLOGIES IN BUCHI EMECHETA'S *DESTINATION BIAFRA*

K. Shoba
C. Vairavan

Abstract
Buchi Emecheta's *Destination Biafra* (1982) has been the focus of critical study for its themes of gender, history, nationalism and the ethics of writing about the Nigerian Civil War. However, the dominant technological architectures for organizing, intensifying and making violence "administrably intelligible" are relatively little studied. This article suggests that the act of violence is not only human or political; it is technologically mediated, maintained in material infrastructures, technical skills, bureaucratic processes and communication networks, and is exemplified through the case of Destination Biafra. The study, based on the philosophy and sociology of technology, Langdon Winner's idea of the politics of artefacts, Martin Heidegger's critique on technological enframing and Paul Virilio's theorization of speed and violence, uses Achille Mbembe's concept of necropolitics and historical accounts of the Nigerian Civil War to construct a four folded framework of technological violence in the novel: administrative-cartographic, ordnance and expertise, logistical, and communicative violence.
The analysis illustrates how contested territory becomes governable and exploitable territory, as it is mapped, how the importation of weapons, military know-how and air technologies expands the possibilities for organised destruction, how roads, trucks, checkpoints and supply routes regulate the mobility and susceptibility of civilian populations, and how communication networks, official records and mediated reports produce and preserve wartime knowledge. The novel also highlights the counter-technological practices associated with mobility, women's informal networks and narrative inscription in the face of these technologies of destruction. The article argues that in the novel Emecheta both illuminates the technological basis of neo-colonial warfare and challenges who does have the power to direct the technologies of violence, to document it and to remember it. The study situates *Destination Biafra* in a discourse on technology and studies which have included the literary in dialogue with African war literature and feminist historiography, making it a major literary criticism of modern violence's infrastructural and epistemic aspects.
Keywords: Nigerian Civil War, technology, arms trade, logistics, African women's writing

ONE WASTE, TWO PRODUCTS: ROOM-TEMPERATURE CONVERSION OF MOROCCAN PHOSPHOGYPSUM INTO AMMONIUM SULFATE AND CALCIUM CARBONATE

Prof. Dr. CHERRAT Ayoub
Forensic Institute of Gendarmerie Royale, Rabat, Morocco.
Dr. ERRADI El Mostafa
Public Laboratory for Tests and Studies LPEE, Center for Studies and Research on the Environment and Pollution, CEREP, Casablanca, Morocco.
Dr. BENHARAF El Mostafa
Team of Chemical Processes and Applied Materials, Sultan Moulay Slimane University, Polydisciplinary Faculty, Beni Mellal, Morocco.
Dr. ENNAWAOUI Amine
Energy4Water Research Center (E4W), University Mohammed VI Polytechnic Benguerir (UM6P), Morocco.
Prof. Dr. MASTOURI Hicham
Energy4Water Research Center (E4W), University Mohammed VI Polytechnic Benguerir (UM6P), Morocco.
Prof. Dr. ENNAWAOUI Chouaib
Laboratory of Engineering Sciences for Energy, National School of Applied Sciences, Chouaib Doukkali University, El Jadida 24000, Morocco.
Prof. Dr. LABJAR Najoua
LS3MN2E, CERNE2D, ENSAM, Mohammed V University in Rabat, Rabat, Morocco.
Prof. Dr. EL HAJJAJI Souad
LS3MN2E, CERNE2D, Faculty of Sciences, Mohammed V University in Rabat, Rabat, Morocco.

ABSTRACT

The wet-process production of phosphoric acid leaves behind roughly three tonnes of phosphogypsum (PG) for every tonne of acid, and Morocco accounts for more than 15 million tonnes of this residue each year. Because only a limited share is recycled globally, most PG accumulates in stacks or reaches coastal waters, where its acidity, fluorides, trace metals and naturally occurring radionuclides threaten surrounding ecosystems. Here, we report a two-step aqueous process that transforms Moroccan PG into calcium carbonate ($CaCO_3$), suitable for construction and filler applications, and ammonium sulfate ($(NH_4)_2SO_4$), a nitrogen–sulfur fertilizer. In the first step, repeated water washing at ambient temperature followed by drying at 60 °C eliminated residual acids and soluble salts, raising the leachate pH from 2.1 to neutral without altering the dihydrate structure. In the second step, the washed gypsum underwent double decomposition with ammonium carbonate, screened at 0.1, 0.3 and 0.6 M over 2 and 4 h. ICP-OES, XRD, FTIR and SEM-EDX were used to follow the transformation and assess product quality. Residual gypsum persisted after 2 h and at the lower concentrations, whereas 0.6 M for 4 h achieved complete conversion. The resulting solid consisted of uniform rhombohedral $CaCO_3$ crystals (55.98 % CaO versus 56.03 % theoretical), and the liquid phase yielded $(NH_4)_2SO_4$ (72.65 % SO_4 versus 72.70 % theoretical), with metallic impurities below detection limits. Relying on one inexpensive reagent and requiring no heating, this route converts a costly waste into agricultural and construction inputs, supporting circular resource

management in the phosphate sector.

Keywords: Phosphogypsum; Waste valorization; Ammonium sulfate; Calcium carbonate; Circular economy; Sustainable phosphate industry.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

A COMPARATIVE READING OF SATIRICAL EXPLORATION IN CHINELO OKPARANTA'S *HARRY SYLVESTER BIRD* AND GEORGE ORWELL'S *ANIMAL FARM*

Junaid Uthman Abayomi
Osun State University, Faculty of Arts and Humanities
ORCID ID: 0009-0009-2030-3686
Alonge-Niyi Oreoluwa
Osun State University, Ikire Campus, Faculty of Arts and Humanities
ORCID ID: 0009-0000-6475-6980
Ige Emmanuel Jesutofunmi
Osun State University, Faculty of Arts and Humanities
ORCID ID: 0009-0008-4501-3856

ABSTRACT

This study undertakes a comparative analysis of the satirical exploration present in George Orwell's classic novella *Animal Farm* and Chinelo Okparanta's *Harry Sylvester Bird*. By examining these two literary works, this research aims to uncover the authors' distinctive use of satire as a powerful tool to critique societal norms, power structures, and the human condition.

Drawing upon literary theory and critical analysis, the study explores the satirical elements present in both works. It delves into Orwell's allegorical depiction of a farm where animals overthrow their human oppressors, only to witness a new form of tyranny emerge, and Okparanta's fictional African nation, offering a unique perspective on the complexities of political power and identity.

Through a comparative lens, this research uncovers how both authors employ satire to challenge prevailing ideologies and expose the flaws inherent in human societies. Orwell's*Animal Farm* serves as a caustic critique of totalitarianism and the corrupting nature of power, while Okparanta's *Harry Sylvester Bird* presents a humorous yet critical exploration of racism.

This study analyzes the narrative techniques utilized by Orwell and Okparanta in their satirical portrayals. It investigates how allegory and satire enable these authors to present incisive social commentary while maintaining engaging and accessible narratives.

By elucidating the distinct ways in which Orwell and Okparanta employ satire, this study contributes to a deeper understanding of the power of satire as a literary device for social critique. It emphasizes how these works challenge readers to reflect critically on their own societies and the dynamics of power, urging them to be vigilant against oppression and

manipulation. This comparative analysis aims to foster a renewed appreciation for the potential impact of satire in literature and encourages readers to engage actively with the complexities of the human condition through the lens of satire as presented in *Animal Farm* and *Harry Sylvester Bird*.

KEYWORDS: Satire, Comparative Analysis, Animal Farm, Harry Sylvester Bird, Social Critique

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

ASSESSMENT OF KNOWLEDGE, ATTITUDE AND PRACTICE ON REPRODUCTIVE HEALTH, MENSTRUAL HYGIENE AND BODY SAFETY AMONG NIGERIAN ADOLESCENT STUDENTS

Junaid Uthman Abayomi
Osun State University, Faculty of Arts and Humanities
ORCID ID: 0009-0009-2030-3686
Kouyate Ibrahim Junior
Far Eastern Federal University - School of medicine
ORCID ID: 0009-0004-9708-2870
Safiya Samaila Kogo
St. Petersburg State Pediatric Medical University, Department of Nursing
ORCID ID: 0009-0003-6809-7208
Oyebola Oreoluwa Elizabeth
Osun State University, Faculty of Public Health
ORCID ID: 0009-0009-8860-8179

ABSTRACT:
Adolescence is a critical stage of human development characterized by significant physical, emotional, and social changes. Adequate knowledge and appropriate practices regarding reproductive health, menstrual hygiene, and body safety are essential for promoting the well-being of adolescents and preventing health-related challenges. As people grow from childhood to adolescence, they create abstract traits and self-concepts with their own standards and judgments, independent of how society compares them.
This study assessed the knowledge, attitude, and practice of reproductive health, menstrual hygiene, and body safety among adolescent students of Hephzibah High School, Owode-Ede, Osun State.
A descriptive cross-sectional study design was conducted. A total number of 160 Adolescent male and female students were recruited using a convenience sampling technique. A semi- structured facilitated self-administered questionnaire were used to collect data from respondents. The questionnaire assessed respondents' socio-demographic characteristics, knowledge of reproductive health, menstrual hygiene and body safety, attitudes towards these concepts, and related practices. Data were analyzed using descriptive and inferential statistics.
The study recommends intensified school-based health education programs, improved access to reproductive health information, promotion of proper menstrual hygiene practices, and continuous body safety education among adolescents to enhance their overall health and well-being.
KEYWORDS: Reproductive Health, Menstrual Hygiene, Body safety, Adolescents

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

EFFECT OF CO-DIGESTION OF COW DUNG WITH CASSAVA WASTEWATER ON BIOGAS PRODUCTION

Junaid Uthman Abayomi
Osun State University, Faculty of Arts and Humanities
ORCID ID: 0009-0009-2030-3686
Kouyate Ibrahim Junior
Far Eastern Federal University - School of medicine
ORCID ID: 0009-0004-9708-2870
Safiya Samaila Kogo
St. Petersburg State Pediatric Medical University, Department of Nursing
ORCID ID: 0009-0003-6809-7208
Itua Uyiosenobua Busayo
College of Environmental Resources Management, Ogun State
ORCID ID: 0009-0000-6007-3891
Alonge-Niyi Oreoluwa
Osun State University, Ikire Campus, Faculty of Arts and Humanities
ORCID ID: 0009-0000-6475-6980

ABSTRACT:
Rising fuel prices, scarcity, growing energy demands, and environmental concerns in Nigeria highlight the need for sustainable energy sources. Biogas production through anaerobic digestion is promising, leveraging abundant agricultural residues and municipal solid wastes. However, optimizing the biogas production process remains a critical challenge in Nigeria. This study assessed the co-digestion of cow dung with cassava wastewater, on biogas production. The study methodology involved the construction of fixed dome digesters using 25-litre kegs. Substrates, including cow dung and cassava wastewater, were loaded into the digesters at ratios: 75:25, 50:50, 25:75 and 100:0 and regular monitoring of the substrate ratios and their effects on the physicochemical parameters such as pH, temperature, methane and total dissolved solids was conducted, with subsequent data analysis using descriptive and inferential statistics. Results revealed significant variations in these parameters, emphasizing the influence of substrate composition.

The 75:25 (CD: CWW) ratio maintains the most stable pH, ranging from 5.95 to 6.56 over the 22-day period. The pH values mostly stay above 6, which is generally favorable for methanogenic bacteria. The 50:50 (CD: CWW) ratio pH values range from 4.24 to 5.52, indicating more acidic conditions than the 75:25 ratio. The pH remains relatively stable but shows some fluctuations over time. The 25:75 and 50:50 ratio might be too acidic for optimal methane production, while the 0:100 ratio might be slightly too alkaline. All digesters show a similar overall pattern with temperature fluctuations. There's a noticeable temperature drop around 9 DAL for all ratios, followed by an increase at 11 DAL. The

75:25 ratio maintains slightly higher temperatures on average, which could be beneficial for mesophilic methane-producing bacteria. 75:25 (CD: CWW) ratio shows a generally increasing trend in methane production over time. It starts low (0.06 at 2 DAL) and peaks at 5.06 at 17 DAL. Production is variable but maintains higher levels in later stages. Demonstrates good potential for sustained methane production. Higher proportions of cassava wastewater (25:75 and 50:50 ratios) seem to result in higher and more stable TDS levels, possibly due to the more readily soluble organic matter in cassava waste. The fluctuations in TDS across all ratios suggest ongoing biological activity and changes in the microbial community throughout the digestion process.

The 75:25 (CD: CWW) ratio demonstrated the most promising results among the co-digestion options, maintaining a stable pH around 6 and slightly higher temperatures, both conducive to methanogenic activity. Overall, the study underscores the complex interactions at play in anaerobic co-digestion systems. While co-digestion of cassava wastewater with cow dung is possible, careful consideration must be given to the ratio of substrates.

KEYWORDS: Anaerobic digestion, Biogas production, Cow dung, Cassava wastewater, Co-digestion

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

CLINICAL EVALUATION OF NEONATAL MORBIDITY, MORTALITY, AND MATERNAL HEALTH OUTCOMES FOLLOWING KANGAROO MOTHER CARE IMPLEMENTATION

Junaid Uthman Abayomi
Osun State University, Faculty of Arts and Humanities
ORCID ID: 0009-0009-2030-3686
Kouyate Ibrahim Junior
Far Eastern Federal University - School of medicine
ORCID ID: 0009-0004-9708-2870
Safiya Samaila Kogo
St. Petersburg State Pediatric Medical University, Department of Nursing
ORCID ID: 0009-0003-6809-7208
Itua Uyiosenobua Busayo
College of Environmental Resources Management, Ogun State
ORCID ID: 0009-0000-6007-3891

ABSTRACT

Kangaroo Mother Care (KMC) has been shown to impact positively on all parameters of extremely low birth weight and premature babies, and the duration of KMC is positively associated with better outcomes, enabling early discharge at low weights for continuation of home-based KMC. This study assessed the impact of Kangaroo Mother Care on child and maternal health in Ijebu North East Local Government Area, Ogun State, Nigeria.

The study adopted a cross-sectional survey design with a mixed-methods approach, combining quantitative and qualitative data, across ten primary health care centers in the study area. A sample of 100 respondents, comprising 50 nursing mothers and 50 health workers, was selected. A researcher-designed questionnaire was used for data collection. Personal data were analyzed using percentages and frequency tables; research questions were analyzed using mean and standard deviation; and null hypotheses were tested using multiple regression analysis at the 0.05 significance level.

Findings revealed a significant association between the proportion of health workers practicing KMC and KMC practice in their institutions ($\beta = .375$, $t = 1.744$, $p < 0.05$); a significant association between health workers' perception of KMC and its practice ($\beta = .628$, $t = 2.826$, $p < 0.05$); and a significant effect of KMC on child and maternal attachment in preterm infants ($\beta = .471$, $t = 3.734$, $p < 0.05$). More than half of the health workers surveyed practised KMC. The common reasons for not implementing KMC were the absence of a written policy and lack of an adequate space for mothers.

It is recommended that advocacy, education and in-service training on KMC for postnatal mothers be intensified across all levels of health facilities to benefit small babies and reduce neonatal mortality, and that adequate information on KMC be disseminated through print and electronic media to mothers and the general public to improve awareness, acceptability and uptake.

Keywords: Kangaroo mother care, Child mortality, Maternal health, Healthcare workers, Maternal attachment, Preterm infants

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

SUTURING WITH CONFIDENCE: DO ANTIMICROBIAL SUTURES TRULY PREVENT SURGICAL SITE INFECTION?

Btissam Serraou
Fadoua Louglali
Hafida Zahir
Mostafa EL Louali
Hassan Latrache
Industrial and Surface Engineering Laboratory, Bioprocess and Biointerfaces Team, Faculty of Sciences and Techniques, Sultan Moulay Slimane University, BP 523, 23000 Beni Mellal, Morocco

ABSTRACT :
Sutures close most surgical wounds, but as implanted foreign material, they may also be an entry point for infection. Surgical site infection (SSI) remains a major cause of postoperative morbidity, prolonged hospitalization, and avoidable costs. Bacteria colonize the suture, where they can form a biofilm. Antimicrobial sutures were designed to turn this vulnerability into a line of defense. But do they live up to their promise?
We synthesized recent studies: systematic reviews, meta-analyses with trial sequential analysis, randomized trials, a prospective observational study, economic models, and laboratory experiments. *In vitro*, antimicrobial coatings significantly reduce bacterial adhesion, suggesting biofilm inhibition, and monofilament structure limits bacterial spread along the suture. Clinically, antimicrobial sutures reduce infections and complications across many surgical procedures, with significant cost savings for hospitals. However, some randomized trials, in arthroplasty and after laparotomy, showed no clear benefit. The most recent meta-analysis confirms the efficacy of antimicrobial sutures in a large number of surgical patients, but the evidence is of low to moderate quality and many studies report conflicts of interest, calling for confirmation by more rigorous studies. This heterogeneity suggests that efficacy depends not only on the active agent but also on suture structure and the surgical site.
Antimicrobial sutures are therefore neither foolproof protection nor a superfluous innovation: their promise is real, but conditional. The challenge is to determine for which patients, surgeries, and suture structures they actually change the prognosis. With an identical coating, how much of the protection against biofilm is attributable to suture structure?
Keywords: surgical site infection; antimicrobial sutures; biofilm; monofilament

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

BIOLOGICAL CAPITAL AND THE COMMODIFICATION OF LIFE IN PAOLO BACIGALUPI'S *THE WINDUP GIRL*

Gayathri P
Academy of Maritime Education and Training Deemed to be University, Junior Research Fellow, Department of English, , Kanathur, Chennai, India.
ORCID: https://orcid.org/0009-0004-0585-8281
Dr.C.Vairavan
Academy of Maritime Education and Training Deemed to be University, Associate Professor, Department of English, , Kanathur, Chennai, India.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6199-3320

Abstract
In Paolo Bacigalupi's *The Windup Girl* (2009), biological life has become an economic product in a dystopian reality which is the result of environmental destruction, genetic modification, corporate takeover, and biotechnologic manipulation. The paper focuses on the novel from the perspective of examining the concept of 'biological capital', and critically analyses how genetic material, engineered organisms, food systems and human bodies are commodified and controlled. Biotechnology is not a solution to environmental disaster, but rather a means to reproduce economic and political structures of inequality, as Bacigalupi demonstrates. In this system, the genetically modified New People, particularly Emiko play a crucial role as their bodies are being constructed as technological products, labourers and commodities. Likewise, corporations control seeds, pathogens, food production and genetic technology, the power to gain from biological knowledge. This paper is a Marxist ecocritical approach which uses the social relationships between commodification, labour, capital and ecological exploitation, to examine the relationship between technological development and environmental injustice in the novel. Based on the premise that *The Windup Girl* challenges the traditional separation of natural resources and manufactured commodities by revealing a market-driven logic of life itself, the study is a lament for a future when biological processes are increasingly monetized, ecological risk is enhanced, and social division deepened, and humans and nonhumans are exploited.
Keywords: Biological capital, Commodification, Biotechnology, Marxist ecocriticism, Environmental injustice.

Introduction

In *The Windup Girl* (2009), Paolo Bacigalupi's focus is on the life/economic value connection. The novel is set in a future realized by climate change, agricultural disease, rising seas and the failure of petroleum-based energy systems, and the control of biological resources is a source of political and economic power. Food is limited, crops can be affected by fast mutation of pathogens, and the production and protection of living organisms turn out to be a determinant source of wealth. The line between nature and commodity is becoming more fluid in this world; the seeds, fruits, animals, and even bodies of human beings are utilized as resources, the value of which is determined by the usefulness to the

powerful institutions.

The speculative Bangkok is surrounded by dikes, levies and pumps, but the city is still an insecure place for the novel's inhabitants. Famine-like conditions hit the farms and food production regularly, and multinational calorie producers such as AgriGen, PurCal and Total Nutrient Holdings make money off their seed technologies and crop resistance. Biological innovation, then, does not just exist to ensure the survival of the species, but is part of a system of competition. The short-term solution to an ecological crisis can be a resistant crop or a new genetic variation that can be the basis of corporate gain. The novel implies that the control of biological knowledge may be a determinant of who has easy access to food, who is dependent on it, and who is facing hunger and environmental risk.

In this paper, the term biological capital refers to the transformation of the living processes and biological materials into sources of economic value. *The Windup Girl's* biological capital consists of engineered crops and seeds, pathogens, genetically modified animals and a genetically modified “New Person” named Emiko. The various life forms are not treated in the same manner, but each are treated as if they were items subject to systems of ownership, management, and extraction. The calorie companies want to influence the proliferation and movement of plants; Emiko is a 'body' designed to work and pleasure others through labour and sexuality. The novel juxtaposes ecological resources and the artificial human body in the same framework of analysis to show how the utility logic can be applied to other species and other forms of life.

The analysis is based on Marxist criticism, environmental criticism and Michel Foucault's notion of biopower. Marx's description of commodity relations serves as a way to understand how living things become exchange values as part of what is supposed to be an order of owners and accumulators (Marx, 1976). Environmental criticism serves as an effective method in determining the contradiction between capitalist production and the ecological conditions that are the basis for production (Foster, 2000; Foster et al., 2010). Biopower, in turn, is Foucault's concept that illuminates the process of classification, regulation and management of bodies and populations within institutions (Foucault, 1978). Combined, these views enable the consideration of the process of biological commodification as an economic as well as political mechanism.

In this paper I will argue that *The Windup Girl* is a paper highlighting the centrality of the commodification of life as one of the defining mechanisms of dystopian capitalism. The novel illustrates the problem of increasingly greater ecological vulnerability as it becomes correlated with the corporate ownership of biological knowledge, and also how this same logic of utility is applied to human and nonhuman bodies. Emiko's use is significant as the body she is exploited is also a technological creation, labouring body and body of ownership. This paper proposes to examine the novel questions through an analysis of ecological crisis, corporate control of genetic resources, commodification of Emiko, and institutional management of biological knowledge, and to argue that Bacigalupi's novel questions a social order in which the ability to manipulate life is used as a justification to possess and exploit it.

Review of Literature

The Windup Girl has been the subject of critical analysis looking at the intersections of ecological crises, biotechnology, the corporate power, and the exploitation of human and nonhuman life. These perspectives serve as a starting point for discussing the novel's portrayal of biological resources as commodities of ownership and economic management. In "The Challenge of Imagining Ecological Futures: Paolo Bacigalupi's *The Windup Girl*" Andrew Hageman takes a look at the connections between ecological instability, biotechnology, and corporate production. In his study, he shows that ecological crises are linked to economic systems that manage biological resources. Likewise, Scott Selisker (2015) in ''Stutter-Stop Flash-Bulb Strange': GMOs and the Aesthetics of Scale in Paolo Bacigalupi's *The Windup Girl*' writes about the implications of GMOs and shows how GMOs can have impacts that are greater than those affecting the individual organism. These studies contribute to the linkage of biotechnology, environmental vulnerability and corporate interest.

In their study on apocalypse and anxiety and the environmental grotesque in *The Windup Girl* (2022), Sanchar Sarkar and Swarnalatha Rangarajan explore themes such as agricultural diseases, GM crops and the effects of biotechnology on food security. In their discussion, they point to how corporations control biological resources intensifies ecological uncertainty and dependence. In "When the Levees Break: Global Heating, Watery Rhetoric and Complexity in Paolo Bacigalupi's *The Windup Girl*," Tom Idema (2020) examines climate change, rising water levels, and political dynamics over biological resources. His analysis illustrates the interactions between ecological instability and issues of national sovereignty, global trade and technological control.

In The Struggle of Being Alive: Laboring Bodies in Paolo Bacigalupi's *The Windup Girl*, Julianne Straetz (2017) explores how Emiko's engineered body is investigated through the dynamic between labour and capitalism and between labour and exploitation. Her analysis shows that the process of technological creation does not necessarily lead to autonomy but Emiko's body is instead subject to ownership and economic use. The view is especially significant to the current study, as it relates biotechnology to the commercialization of embodied life.

These studies take a look at ecological crisis, genetic engineering, corporate power, and bodily exploitation, yet there is still room to link these issues under the umbrella of the concept of biological capital. The present study is situated within this under-researched area, focusing on how *The Windup Girl* is a representation of the commodification of biological resources as well as engineered human bodies. It says that the ownership of such genetic resources by the corporation, its exploitation of Emiko and its control of biological knowledge can be seen as a dystopian economic system in which life is a resource to be controlled and exploited.

RESEARCH AND FINDINGS

Ecological Crisis and the Transformation of Biological Resources

Paolo Bacigalupi's *The Windup Girl* is a book that views ecological crisis as a state of affairs that alters the equation between humans and biological resources. Recurrent agricultural diseases, especially blister rust, threaten food production stability and highlight

the fragility of food production societies relying on GM crops. The constant decline in agricultural security is underscored by the phrase “Blister rust is mutating every three seasons now” (Bacigalupi 2009, p. 6). The speed of change is so fast, that biotechnology firms can never find a permanent solution, illustrating the impotence of technology in controlling a biological process. The result is ecological instability is a constant danger to food production and economic security.

The human impact of this crisis is set forth by the words “People are starving…” (p. 6, Bacigalupi, 2009). Food scarcity in the novel is not just an environmental issue but also tied to the economic agendas of corporate actors in the business of agricultural technologies and genetic resources. While these firms say they're working on a solution to plant diseases, their work will be driven by competition, IP and profit. The pain of agricultural failure thus reveals the contradiction between sustaining life and commercial considerations in relation to access to basic resources. Ecological vulnerability is exacerbated by a system of economics that takes food production as its source of corporate power, according to Bacigalupi, through this contradiction.

The description of the seedbank as “a treasure trove of biological diversity” (Bacigalupi, 2009, p. 87) further illustrates the changing value of biological resources. This genetic diversity held in the seed bank of Thailand is one important way of defending against agricultural diseases and food security. But Anderson Lake is more concerned about this diversity from a commercial and technological aspect. The seedbank is an interest that relates to the economic relevance of biological material, when a corporation wants to influence its properties and to use it economically. The seed bank is then not only an opportunity to ecologically survive but is also an area of conflict of biological capital.

Bacigalupi's representations merge ecological crisis and the commercialization of life. Biological resources get more valuable with their potential to provide answers to environmental instability, but at the same time, they become a source of competition and control for corporations. The novel thus poses a challenge to an economic system where the preservation of life is subservient to the quest for profit. This paragraph sets up the ecology of the novel The more serious the danger of extinction, the more valuable the resources that must be controlled in order to survive are to the economy and the political system.

Corporate Ownership, Genetic Resources, and Food Production

In Bacigalupi's *The Windup Girl*, genetic resources are viewed as a strategic resource that gives biotechnology companies their economic vitality. In order to safeguard their crops from diseases that quickly evolve, the calorie companies are banking on the creation of new genetic material. Companies rely on biological diversity as evidenced in Anderson Lake's remark, “We need new genetic material” (Bacigalupi, 2009, p. 152). The companies' interest in genetic resources is also motivated by their need to keep the market in their hands and preserve their investments, despite the fact that genetic innovation is perceived as a requirement to face agricultural crises.

“Your patented grains and seeds” (Bacigalupi, 2009, p. 152) reveals the implications of turning vital biological resources into privately owned property. Patents enable

corporations to influence agricultural production and leave farmers and entire communities vulnerable to technologies they don't control. The novel thus challenges the focus on concentration of power in institutions which can close people off from resources they need to survive. Food security is linked inextricably to corporate ownership, and the power to produce and/or improve crops becomes an economic and political power.

The Thai seedbank is an alternative to this corporate system. It is said to be a “treasure trove of biological diversity” (Bacigalupi, 2009, p. 87), and it has the potential to be a source of resistance to agricultural diseases and maintain local independence. The interest in the seed bank, however, in Anderson illustrates the potential of using biological diversity as a business opportunity. It is more than just about surviving, it could also provide some good money and some new technologies that corporations could have.

In this war, Bacigalupi shows the ways in which biological capital can be generated by using genetic resources as means of accumulation. The seeds problem shows up a basic paradox, that which is necessary for collective survival ends up in systems of private ownership. The novel then raises doubts as to the ability of the corporate sector to solve ecological problems when access to means of living is still determined by commercial values.

Emiko and the Commodification of the Engineered Body

Though the commodification of life in *The Windup Girl* has already been noted as present in the farming goods, it is also present in the human body as is indicated by Emiko's character. Genetically altered, as a “New Person” she has been fashioned by biotechnology and is regarded by society as a manufactured product whose worth is measured in terms of her usefulness to other people. “Yes, I'm property, I'm property,” is his answer. “My name is Raleigh”, (Bacigalupi, 2009, p. 46), reveals who she is. Emiko is not recognized as a person with autonomy and dignity, but as an object to be owned and controlled.

“I am owned” (Bacigalupi, 2009, p. 46) is another reminder of the internalisation of this unequal social order. Emiko's awareness of her status signals the way the exploited individual's social and psychological circumstances play into the process of commodification as well. Her technologically engineered body is a place where technological production, ownership, and social discrimination all converge. Biotech has endowed her with unique physical abilities, but that freedom doesn't come with those skills. Rather, they reinforce an “image” of her body as a “made” object for which the role is defined by the designer and proprietor.

This hierarchy is made explicit by the notion of “New People serve and do not ask questions” (Bacigalupi, 2009, p. 36). The statement degrades engineered beings to tools, and denies them the right to have a say in their own lives. Bacigalupi, via Emiko, challenges the ideology that technology can control biological processes in a way that is always "progress.Bacigalupi, through Emiko, doubts the notion that the control of biological processes with technology equals progress. With ethical responsibility and individual autonomy placed under the control of ownership, scientific innovation can give rise to new life forms and to new possibilities of exploitation.

From this perspective, Emiko's experiences continue the notion of biological capital, which

reflects the commercialization of genetic resources, and further the idea that embodiment is a commodity. Her engineered body is treated as if it has been created for a specific purpose, and the one who claims rights to it like patented seeds has control over it. When her consciousness, suffering and desire for freedom reveal the inadequacy of treating a living being as property, however. The novel thus calls into question a system in which the life generated by technology is dominated with the help of the technology itself.

Biopower, Biological Knowledge, and Environmental Injustice

The Windup Girl is a novel in which biological expertise is a form of power, and its use and misuse shape the circumstances of life for corporations and political institutions. Science is promising to safeguard crops, but as the novel shows, so are the shortcomings of trying to halt biological processes. Bacigalupi (2009) suggests that, “It will be a new variation, and all the old tests will be useless” (p. 92). This is clearly a statement of the unpredictable nature of mutating pathogens. As new variants emerge, existing detection and prevention strategies are being jeopardized, and ecological security relies on ongoing scientific efforts. This situation brings out the conflict between wanting to control life and the complexity of biological systems that are not susceptible to permanent control.

The connection between biology and economics is more apparent in Baci- galupi's phrase, “If it doesn't come from a calorie company, it will breed” (2009, p. 93). This is a reference to the calorie companies' sterile GM crops and a comparison of their commercialization with the ability of Thai-grown fruit to reproduce. It implies that corporate biotechnology could be used to control biological resources' reproduction, leading to dependence on commercial goods. In this system, the power to decide on natural reproduction of a crop turns into a form of economic control. Biological knowledge is thus not free of meaning: its use is based on decisions concerning ownership, profit, and access to key resources.

Another implication of Bacigalupi's reflection on the uneven distribution of the scientific expertise that “A machete doesn't care who wields it, or who made it” (Bacigalupi, 2009, p. 214) is that the power of the scientific instrument is the same regardless of its use. Thailand will need to gain scientific knowledge and technological resources from strong foreign institutions to secure itself from the plagues of agriculture in the novel. The dependency shows the disparities between countries with high level biotechnology and those who do not have the means to obtain them to survive. Knowledge can be a means of protection for a population but can also be a tool of influence in the hands of strong corporations and states.

Such relationships can be analysed in the light of Foucault's concept of biopower which highlights how institutions control life, bodies and populations (Foucault, 1978). Seed control, crop reproduction, disease prevention and scientific research are some of the elements that drive the conditions in which communities can survive in the novel. Such control is superimposed on the economic inequality, so that some populations are more vulnerable than others. The implications of biological control are, then, ecological and political – what lives are saved and what lives are up for grabs depends on access to knowledge and technology.

Bacigalupi links the science of life to systems of power and environmental injustice in these

representations. The novel comes to show that the power to manipulate life is not synonymous with the well-being of the collective when scientific resources are under the control of institutions with commercial and/or political interests. Rather, biological innovation can serve to strengthen dependence and access inequalities in means of survival. The process of commodification of life does not only result from the control or ownership of genetic resources and engineered bodies, but also from unequal access to knowledge and information required to maintain the lifecycles of these resources.

Conclusion

In *The Windup Girl*, Paolo Bacigalupi weaves in the commercialization of life as a central part of a dystopian world that is littered with ecological uncertainty, biotechnology, and corporate control. These novelities biological diseases, food scarcity, genetic rights, and genetic human beings become entangled in the novel, as it shows how the new perspective on biological life as an economic commodity plays out. The control of seeds, the control of genetic resources, and the exploitation of Emiko, show how environmental vulnerability can be transformed into a chance for corporate accumulation, and how the logic of ownership can extend to the human body.

The problem of corporate control of genetic resources reveals biological diversity to have a double meaning in the novel: in the first place it is a condition for the survival of the ecological system and in the second place it is a source of commercial value and political power. The strategies of the calorie companies to manage agricultural production shed light on the possibility of dependence and a lack of access to resources for survival stemming from the ownership of biological knowledge. Emiko's experiences further prove that the freedom and dignity that is promised by technological creation are not assured. She is a product of genetic engineering, but her treatment as property raises moral and social issues regarding a living being being reduced to a designed object to be used by others.

Marxist criticism sheds light on the process by which biological resources and engineered bodies come under the control, exploitation, and appropriation of capitalists, and environmental criticism uncovers the tensions between capitalist production and environmental survival. Foucault's notion of biopower also helps to elucidate the relationship between the management of biological knowledge, reproduction, and autonomy of the body and the regulation of life. These viewpoints make it clear that the ecological crisis of the novel is not distinct from the economic and political systems which shape who owns biological resources and who suffers from their use.

Overall, *The Windup Girl* questions whether or not technological progress necessarily translates to social progress. Bacigalupi argues that science that's primarily driven for profit, ownership and unequal access is ethically challenged. The novel's depiction of biological capital thus brings up significant issues regarding biotechnology, environment and human autonomy. In a world where seeds, genetic information, and bodies can be controlled, Bacigalupi cautions that the state of our collective survival and our individual dignity are at stake when life is seen in its primary economic function.

References

Bacigalupi, P. (2009). *The Windup Girl*. Night Shade Books.

Cooper, M. (2008). Life as surplus: Biotechnology and capitalism in the neoliberal era. University of Washington Press.

Estok, S. C. (2023). Racist Orientalism, technology, gender, and food in *The Windup Girl:* Notes on detachment and division. ISLE: Interdisciplinary Studies in Literature and Environment, 30(3), 616–636. https://doi.org/10.1093/isle/isab061

Foster, J. B. (2000). Marx's ecology: Materialism and nature. Monthly Review Press.

Foster, J. B., Clark, B., & York, R. (2010). The ecological rift: Capitalism's war on the earth. Monthly Review Press.

Foucault, M. (1978). The history of sexuality: Volume 1: An introduction (R. Hurley, Trans.). Pantheon Books.

Hageman, A. (2012). The challenge of imagining ecological futures: Paolo Bacigalupi's *The Windup Girl.* Science Fiction Studies, 39(2), 283–303. https://doi.org/10.5621/sciefictstud.39.2.0283

Idema, T. (2020). When the levees break: Global heating, watery rhetoric and complexity in Paolo Bacigalupi's *The Windup Girl*. Green Letters, 24(1), 51–63. https://doi.org/10.1080/14688417.2020.1752509

Marx, K. (1976). Capital: A critique of political economy (Vol. 1, B. Fowkes, Trans.). Penguin Books. (Original work published 1867)

Sarkar, S., & Rangarajan, S. (2022). "Do you think it is a pandemic?" Apocalypse, anxiety and the environmental grotesque in Paolo Bacigalupi's *The Windup Girl*. Interlitteraria, 27(1), 69–83. https://doi.org/10.12697/IL.2022.27.1.7

Selisker, S. (2015). "Stutter-stop flash-bulb strange": GMOs and the aesthetics of scale in Paolo Bacigalupi's *The Windup Girl*. Science Fiction Studies, 42(3), 500–518. https://doi.org/10.5621/sciefictstud.42.3.0500

Straetz, J. (2017). The struggle of being alive: Laboring bodies in Paolo Bacigalupi's *The Windup Girl.* Current Objectives of Postgraduate American Studies, 18(1). https://doi.org/10.5283/copas.279

COMPARATIVE STUDY OF THE PHYTOCHEMICAL COMPOSITION OF *FUMARIA PARVIFLORA* FROM THREE REGIONS OF MOROCCO

Salma MAKDOUF
Laboratory of Health and Environment, Faculty of Sciences Ain Chok, Hassan II University of Casablanca (Morocco)
Karima El Bouqdaoui
Laboratory of Health and Environment, Faculty of Sciences Ain Chok, Hassan II University of Casablanca (Morocco)
Laboratory of Care, Health and Sustainable Development, Higher Institute of Nursing and Health Techniques, Casablanca (Morocco)
Abdelhakim El Makssoudi
Laboratory of Organic Synthesis, Extraction and Valorization (LSOEV), Ain Chok, Hassan II University of Casablanca (Morocco)
Mounia Cherki
Laboratory of Health and Environment, Faculty of Sciences Ain Chok, Hassan II University of Casablanca (Morocco)

Abstract
Species of the *Fumaria* genus are medicinal plants known for their anti-inflammatory, antioxidant, and antidiabetic effects. Our species, *Fumaria parviflora*, locally known under different names, is a green, herbaceous, annual plant that grows in wheat fields, plains, and low hills. It is a ubiquitous species that can be found in Europe, Africa, America, Australia, and especially in high prevalence in India, Pakistan, and Iran.
In traditional medicine, this species has been used to treat numerous diseases and infections such as diabetes, digestive disorders, eczema, burns, fever, flu, headaches and toothaches, poisoning, hepatobiliary dysfunction, blood disorders, urinary diseases, and male infertility. Despite these remarkable therapeutic potentials, few scientific studies have aimed to evaluate its biological activities. Hence, the objective of our research is to carry out a comparative study of the phytochemical composition of *F. parviflora* harvested from three different Moroccan regions (Casablanca, El Jadida, and Khouribga).
Lipids, carbohydrates, proteins, minerals, and pigments were determined using standard methods. Secondary metabolites were assessed through screening techniques. Our results showed that the chemical composition varies depending on the harvesting region, with the Casablanca sample being particularly rich in polyphenols.
Thus, we can conclude that the environmental conditions of each region influence the chemical composition of this plant.
Keywords: *Fumaria*; chemical composition; harvesting region; comparative study.

HARMONIZING SUSTAINABLE PRACTICES: CLIMATE-RESPONSIVE DESIGN IN UNIVERSITY LIBRARIES

Ar. Fahrah Khurram
MSc SED AIOU & Assistant Professor (VF) NCA, Rawalpindi.
Ar. Nazia Iftakhar
Lecturer, Dept. of Nutritional Sciences & Environmental Design, AIOU, Islamabad.
Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti
Associate Professor & CoD, Dept. of Architecture, School of Architecture & Planning, UMT, Lahore

ABSTRACT

The current research exploration in the form of this paper responds to the growing environmental issues and energy disasters by noting that human conduct needs to be adjusted to sustainable practices. With a particular interest in the Junaid Zaidi Library in the COMSATS University Islamabad (CUI), the study examines how climate-responsive design can be used to improve the level of indoor comfort and raise awareness about sustainability in educational institutions. The current conditions of the library, performance gaps, and the design strategies that can be offered to the library, such as the best orientation, passive heating and cooling methods, and the use of sustainable materials, are evaluated by studying the library with the help of observational methods, qualitative surveys, and analysis of environmental data. The results would be used to create energy-efficient, user-friendly academic spaces with minimal adverse effects on the environment. The study was carried out within a period of four months, but there might have been limitations to the study, such as the time factor and seasonal factor. However, the study offers useful design information to architects and planners to help in a wider perspective of sustainable building practices within the scope of university libraries within the twin cities of Pakistan.

KEYWORDS: Climate Responsive Design, Sustainable Building, Sustainable Materials, Responsive Architecture.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

BLOCKCHAIN ENABLED ACCOUNTING SYSTEMS FOR IMPROVING FINANCIAL TRANSPARENCY, AUDITABILITY, CORPORATE GOVERNANCE, FRAUD PREVENTION, AND STAKEHOLDER CONFIDENCE ACROSS ORGANISATIONS

Ayodele Elizabeth AGOI
Osun State College of Technology, Esa-oke.
Moses Adeolu AGOI
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.
https://orcid.org/ 0000-0002-8910-2876
Oluwanifemi Opeyemi AGOI
Obafemi Awolowo University, Osun Nigeria.
https://orcid.org/ 0009-0007-9461-8870
Yewande Adeyosola ODUNAYO
Lagos State University of Education, Lagos Nigeria.

Abstract

Blockchain technology is increasingly transforming accounting systems by providing distributed, tamper-resistant, time-stamped and independently verifiable records of financial transactions. Conventional accounting environments continue to experience challenges associated with information asymmetry, delayed reporting, data manipulation, fragmented audit trails, fraudulent activities, ineffective internal controls and declining stakeholder confidence. This study examines the influence of blockchain-enabled accounting systems on financial transparency, auditability, corporate governance, fraud prevention and stakeholder confidence across organisations. A quantitative survey design was employed, using a structured questionnaire administered to accounting professionals, auditors, financial managers, internal-control personnel, corporate administrators and information-technology professionals. Data were analysed using descriptive statistics, Pearson correlation and multiple regression analysis to determine the relationships between blockchain-enabled accounting and the identified organisational outcomes. The study conceptualises blockchain adoption as an integrated accounting capability encompassing distributed ledgers, cryptographic verification, smart contracts, immutable transaction records and controlled access to shared financial information. The findings indicate that blockchain-enabled accounting is positively associated with financial transparency, auditability, corporate governance, fraud prevention and stakeholder confidence, suggesting that distributed and verifiable transaction records can strengthen the integrity, traceability and accessibility of accounting information. The findings further indicate that blockchain-supported accounting can enhance audit evidence, facilitate continuous auditing, strengthen internal control, improve governance monitoring and reduce information asymmetry among managers, auditors, investors, regulators and other stakeholders. These findings are consistent with recent empirical and conceptual evidence demonstrating that blockchain adoption can improve accounting information quality and

strengthen governance mechanisms (Fang et al., 2023; Pflueger et al., 2024). However, effective implementation requires attention to regulatory requirements, cybersecurity, interoperability, scalability, technical competence, data quality and organisational readiness. The study concludes that blockchain-enabled accounting can serve as an important technological foundation for strengthening financial transparency, auditability, corporate accountability, fraud-risk management and stakeholder confidence when supported by effective governance and professional assurance mechanisms.
Keywords: Auditability; Blockchain; Corporate Governance; Financial Transparency.

INTRODUCTION

The rapid digitisation of organisational activities has transformed accounting from predominantly transaction-recording and reporting functions into increasingly interconnected information systems that support monitoring, assurance, governance and strategic decision-making. Nevertheless, conventional accounting systems continue to encounter challenges associated with fragmented databases, information asymmetry, manual reconciliation, delayed verification, unauthorised alterations, fraudulent transactions and limitations in establishing reliable audit trails. These weaknesses can compromise the transparency and credibility of financial information and consequently affect the decisions of managers, auditors, regulators, investors, creditors, employees and other stakeholders. Blockchain technology has emerged as a potentially important technological response because it enables transactions to be recorded within a distributed ledger in which authorised participants can independently verify records while cryptographic mechanisms and consensus procedures make unauthorised alteration considerably more difficult. Within accounting environments, blockchain can therefore shift transaction recording from isolated organisational databases towards shared and verifiable records, creating possibilities for improved data integrity, traceability and accountability. Fang et al. (2023), using 33,242 firm-year observations from Chinese listed companies, found that blockchain adoption significantly improved accounting information quality and identified stronger corporate governance and collaboration with large audit firms among the mechanisms underlying the observed relationship. Similarly, Wang (2023) proposed a blockchain-based accounting information audit-quality control system in which enhanced information security and reliable transaction data provide a foundation for strengthening audit-quality control. The significance of blockchain for accounting also extends beyond information storage because smart contracts can automate predefined accounting and control procedures, while distributed verification can reduce dependence on a single central record keeper. Recent literature consequently associates blockchain-enabled accounting with improved transparency, accountability, auditability and governance, although researchers caution that technological adoption does not automatically guarantee trustworthy accounting outcomes. Secinaro et al. (2022), through a bibliometric and coding analysis of 93 peer-reviewed sources, demonstrated that blockchain research has developed substantially across accounting, auditing and accountability while noting that the accountability dimension remains comparatively less

validated than accounting and auditing applications. More critically, Pflueger et al. (2024) argue that blockchain accounting should not be understood simply as a technological replacement for existing accounting practices because its implications involve changes in organisational arrangements, governance and the foundations of trust. Recent systematic reviews similarly identify transparency, governance, information quality, accountability and audit transformation as major areas of blockchain-accounting research, while highlighting continuing concerns regarding regulation, implementation capabilities, interoperability, cybersecurity and professional adaptation. These developments make blockchain-enabled accounting particularly relevant to organisations seeking to strengthen the credibility of financial reporting and reduce opportunities for financial manipulation. Financial transparency is important because stakeholders require timely and understandable information concerning organisational transactions, resources, obligations and performance. Blockchain can contribute to this objective by creating traceable transaction histories and allowing authorised stakeholders to verify relevant records without relying exclusively on manually reconciled databases. Auditability may also improve because auditors can access transaction histories with stronger provenance and potentially move from periodic sampling towards more continuous or technology-assisted assurance procedures. Corporate governance may benefit where boards, audit committees and managers receive more reliable and traceable financial information for monitoring organisational activities. Fraud prevention is another important application because immutable records, cryptographic authentication, distributed verification and programmable controls can make certain forms of transaction alteration and concealment more difficult, although blockchain cannot prevent fraudulent transactions originating from inaccurate information entered into the system. Stakeholder confidence may consequently increase when financial records are perceived as more transparent, traceable and independently verifiable. However, blockchain adoption also introduces new risks and institutional requirements. Organisations must address data privacy, cybersecurity, governance of permissioned networks, interoperability with legacy accounting systems, scalability, regulatory compliance, employee competence and the quality of information initially entered into the ledger. The existence of an immutable record does not itself establish that the underlying transaction is legitimate, meaning that effective internal controls, professional judgement, external assurance and regulatory oversight remain necessary. The present study therefore investigates blockchain-enabled accounting systems as an integrated organisational mechanism for improving financial transparency, auditability, corporate governance, fraud prevention and stakeholder confidence. Rather than treating blockchain as a stand-alone technological innovation, the study examines its accounting implications through interconnected dimensions of information integrity, transaction traceability, audit effectiveness, governance monitoring, fraud-risk reduction and stakeholder trust. This approach responds to the growing scholarly emphasis on examining both the technological capabilities and organisational consequences of blockchain adoption. The study is consequently positioned within contemporary accounting and information-systems research that seeks to understand how distributed ledger

technologies can strengthen trustworthy financial reporting while recognising the institutional and technical conditions required for successful implementation. Recent evidence that blockchain adoption can improve accounting information quality and organisational value provides an empirical foundation for further investigation into its broader effects across organisational accounting and governance environments.

LITERATURE REVIEW

Blockchain-Enabled Accounting and Financial Transparency

Blockchain-enabled accounting represents a significant development in the architecture of financial information systems because it introduces a distributed, cryptographically secured and time-stamped mechanism for recording economic transactions. Unlike conventional accounting databases in which transaction records are maintained and controlled primarily by a central organisation, blockchain permits authorised participants to share synchronised records whose subsequent alteration can be detected through the underlying cryptographic structure. This characteristic has important implications for financial transparency because transparency depends not only on the availability of financial information but also on its integrity, traceability, timeliness and verifiability. Han et al. (2023) identify real-time accounting, triple-entry accounting, event-based accounting and continuous auditing as major developments associated with blockchain, arguing that immutable and consensus-validated data can improve transparency and trust in accounting practice. The ability to establish a traceable sequence of transactions can reduce ambiguity regarding when, how and by whom financial events were recorded, thereby strengthening the evidential foundation of financial statements. Fang et al. (2023) provide particularly strong empirical evidence from 33,242 firm-year observations of Chinese listed companies, finding that blockchain adoption significantly improves accounting information quality. Their analysis further indicates that stronger corporate governance and collaboration with large audit firms constitute important mechanisms through which blockchain adoption improves accounting information quality. The relationship between blockchain and transparency is also reflected in contemporary research on financial reporting. Tiron-Tudor et al. (2024) emphasise that blockchain-based financial statements can provide real-time, tamper-resistant and verifiable accounting information, with potential to reduce manipulation and misrepresentation of financial claims. Similarly, the systematic review by Sapra et al. (2024) indicates that blockchain-related accounting research increasingly focuses on information quality, governance, accountability and reporting implications, although regulatory and implementation challenges remain. Transparency, however, should not be interpreted as unrestricted disclosure of all organisational information. Effective blockchain accounting requires appropriate permission structures that determine which participants can access, verify or write particular records. Consequently, permissioned blockchain architectures may be particularly relevant to corporate accounting because they can preserve controlled access while maintaining shared verification among authorised participants. Pflueger et al. (2024) caution that blockchain accounting should be understood

as an organisational and governance transformation rather than simply a technical replacement for existing accounting systems. They argue that blockchain affects how accounting information is organised, governed and trusted. Thus, the contribution of blockchain to financial transparency ultimately depends on the quality of information entered into the ledger, governance arrangements, user competence, regulatory standards, cybersecurity and the integration of blockchain with existing accounting processes. Blockchain can make records difficult to alter after entry, but it cannot guarantee that an originally false or fraudulent transaction is truthful. Financial transparency is therefore most effectively enhanced when blockchain is integrated with strong internal controls, professional accounting judgement, external assurance and appropriate governance mechanisms.

Blockchain-Enabled Accounting and Auditability

Auditability refers to the extent to which financial transactions and accounting information can be systematically examined, traced, verified and supported by sufficient appropriate evidence. Blockchain has substantial implications for auditability because its distributed architecture can provide auditors with transaction records containing timestamps, cryptographic identifiers and linked historical information. Han et al. (2023) argue that blockchain can facilitate a transition from conventional periodic auditing toward more continuous forms of assurance because auditors can work with shared, verified and consensus-based information. Their review identifies continuous auditing as one of the four major themes emerging from blockchain-accounting research and suggests that blockchain can provide a reliable data environment for advanced analytical and artificial-intelligence-supported auditing. This potential is supported by empirical research. Elshafie et al. (2024), examining 249 auditors in the Middle East, found that audit clients' use of blockchain improved the collection of sufficient and appropriate audit evidence when auditing accounting estimates. The finding is important because audit evidence constitutes a fundamental basis for professional assurance, and blockchain-based transaction histories can potentially reduce the difficulty of reconstructing financial events from fragmented accounting records. Blockchain may also reduce certain reconciliation activities because authorised participants can access a common transaction history rather than maintaining entirely independent versions of the same transaction data. Such capabilities could enable auditors to devote more attention to complex estimates, judgemental areas, risk assessment and analytical procedures. Li et al. (2023) further demonstrate the technical possibilities of blockchain-based auditing by proposing auditing schemes that use blockchain and smart contracts to support data verifiability and privacy protection. Nevertheless, blockchain does not eliminate the auditor's responsibility for professional judgement. Juma'h and Li (2023) demonstrate that auditors' blockchain knowledge influences their intention to use the technology, while professional scepticism and perceptions of the adequacy of accounting standards can constrain adoption. This suggests that technological capability must be accompanied by appropriate professional competencies and regulatory guidance. The transition towards continuous auditing also raises questions concerning the interpretation

of blockchain records, exception management, control over smart contracts and responsibility for identifying errors that originate before information is entered into the blockchain. Blockchain therefore changes rather than eliminates auditing responsibilities. Auditors may increasingly move from manual transaction verification toward monitoring, analytics, control evaluation and interpretation of technologically generated evidence. The bibliometric analysis of auditing research by Al-Hamadeen et al. (2023), based on 725 publications from Web of Science and Scopus, indicates rapid growth in blockchain-auditing research but also shows that the field remains comparatively young. Consequently, blockchain-enabled accounting can strengthen auditability through traceability, evidence availability, data integrity and potential continuous assurance, but the magnitude of its contribution depends on system design, auditor competence, standards, cybersecurity and effective integration with existing audit methodologies.

Blockchain, Corporate Governance and Organisational Accountability

Corporate governance depends heavily on the availability of reliable information through which boards, audit committees, managers, shareholders and regulators can monitor organisational activities and evaluate managerial conduct. Blockchain-enabled accounting can potentially strengthen governance by creating a more transparent and traceable information environment in which financial transactions are recorded and verified through distributed processes. Fang et al. (2023) provide direct empirical evidence that blockchain adoption improves accounting information quality partly through strengthening corporate governance. Their study, based on 33,242 firm-year observations, indicates that corporate governance represents an important mechanism linking blockchain adoption with improved accounting information quality. This finding suggests that blockchain should not be considered merely an accounting-automation technology; it can also function as an infrastructure for organisational monitoring. For example, authorised board members or audit committees could potentially obtain more timely information about significant transactions, related-party activities, procurement processes, asset transfers and other financially relevant events. Smart contracts can additionally encode predefined rules governing transactions, approvals or compliance conditions, thereby reducing opportunities for unauthorised intervention after contractual conditions have been established. Han et al. (2023) specifically identify smart-contract automation as a mechanism that can reduce managerial manipulation and opportunistic behaviour while simultaneously supporting real-time accounting processes. Nevertheless, Pflueger et al. (2024) caution against viewing blockchain governance as simply a substitution of technological control for human governance. Their analysis identifies organising, governance and trust as interconnected dimensions of blockchain accounting and demonstrates that distributed technologies can reshape existing organisational arrangements rather than simply eliminate intermediaries. This perspective is important because corporate governance ultimately involves accountability, authority and responsibility, which cannot be transferred entirely to algorithms. The 2024 systematic review of blockchain governance and trust, covering 155 papers, similarly indicates that blockchain can improve transparency and security but that

trust remains an important consideration in governance structures. Blockchain-based governance systems may therefore improve accountability by increasing the visibility and traceability of organisational transactions, while smart contracts may strengthen compliance with predetermined rules. However, effective governance requires clearly defined authority over network participation, validation rules, data correction procedures, privacy, smart-contract modification and dispute resolution. Governance risks can arise if a small group of participants controls the permissioned network or if automated rules are poorly designed. Consequently, blockchain's contribution to corporate governance is strongest when technological controls complement, rather than replace, independent directors, audit committees, internal controls, professional ethics and regulatory oversight. The literature therefore supports a view of blockchain-enabled accounting as a governance infrastructure that can reduce information asymmetry and improve monitoring, while recognising that organisational accountability ultimately remains dependent on institutional arrangements and responsible human decision-making.

Blockchain-Enabled Accounting and Fraud Prevention

Fraud prevention constitutes one of the most frequently discussed potential applications of blockchain-enabled accounting because fraudulent financial activities often exploit weaknesses in record integrity, transaction verification, access controls and audit trails. Blockchain's cryptographic architecture, distributed validation and tamper-evident transaction history can make certain forms of unauthorised modification more difficult and can improve the traceability of financial events. Tiron-Tudor et al. (2024) developed the concept of Blockchain Financial Statements as an accounting-system approach designed to reduce accounting fraud, data manipulation and misrepresentation by providing real-time, tamper-resistant and verifiable accounting information. Han et al. (2023) similarly identify blockchain's immutable and consensus-driven data structure as a mechanism capable of improving transparency and trust, while smart contracts can automate selected accounting processes and reduce opportunities for managerial manipulation and opportunistic behaviour. The fraud-prevention value of blockchain is therefore associated with several mechanisms: immutable transaction histories, cryptographic authentication, distributed validation, automated contractual conditions, transaction traceability and improved audit evidence. Where transactions are recorded through a properly controlled blockchain, attempts to retrospectively modify transaction histories may become more difficult to conceal because changes can conflict with the distributed record structure. Blockchain can also support forensic accounting by allowing investigators to trace transaction relationships and identify unusual patterns across connected records. However, the literature also reveals an important limitation: blockchain does not guarantee that the information initially entered into the ledger is truthful. A fraudulent transaction can still be recorded immutably if false information is deliberately entered at the point of origin. Fraud can also arise through compromised credentials, malicious smart contracts, collusion among authorised participants, manipulated external data or weaknesses in interfaces connecting blockchain systems with conventional databases. The systematic review by Sapra et al. (2024) therefore

emphasises the need to balance the expected benefits of blockchain accounting with regulatory, technological and organisational risks. Juma'h and Li (2023) also indicate that auditors' knowledge and professional judgement remain important to blockchain utilisation, reinforcing the argument that technological controls cannot replace professional scepticism and assurance procedures. Consequently, blockchain should be regarded as a fraud-risk reduction mechanism rather than a complete fraud-prevention solution. Its greatest contribution may occur when distributed ledger controls are integrated with segregation of duties, authentication, anomaly detection, internal auditing, external auditing, cybersecurity and fraud-risk management. Blockchain-enabled accounting can thus strengthen the evidential and control environment surrounding financial transactions, but fraud prevention remains a socio-technical responsibility requiring appropriate system governance and human oversight.

Blockchain, Financial Reporting Quality and Decision-Making

The quality of accounting information is central to organisational decision-making because investors, managers, creditors, regulators and other stakeholders require information that is relevant, reliable, timely, comparable and understandable. Blockchain-enabled accounting has the potential to improve several of these characteristics by providing synchronised transaction records, stronger provenance and potentially real-time access to authorised accounting information. Fang et al. (2023) offer substantial empirical support for this proposition, finding that blockchain adoption significantly improves accounting information quality across 33,242 firm-year observations of Chinese listed companies. Their study further reports economic consequences involving financing behaviour and overall firm value, suggesting that improvements in accounting information may extend beyond reporting processes to broader organisational outcomes. Blockchain may also facilitate changes in the temporal structure of financial reporting. Rather than relying exclusively on periodic aggregation of transactions followed by reconciliation and reporting, blockchain can support a continuously updated accounting environment in which authorised participants have access to verified transaction information. Han et al. (2023) describe this transition through the concepts of real-time accounting and event-based accounting, arguing that blockchain can provide a richer information foundation for accounting professionals and decision-makers. Real-time access could be particularly valuable in environments characterised by rapid transactions, complex supply chains and geographically distributed operations. Managers may potentially use more current information for cash-flow management, budgeting, investment decisions, risk assessment and performance monitoring. External stakeholders may similarly benefit from improved visibility into financial activities. Nevertheless, greater information availability does not automatically produce better decisions. Decision quality depends on information relevance, interpretation, user competence and organisational context. Moreover, blockchain may create large volumes of transaction-level information that require analytics and appropriate accounting classifications before becoming useful managerial information. Pflueger et al. (2024) therefore argue that blockchain accounting should be considered in relation to

organisational practices, governance and trust rather than as a purely technical improvement in recordkeeping. The 2024 systematic review by Sapra et al. also indicates that blockchain-related improvements in information quality can have implications for governance, accountability, shareholder value and sustainability reporting, but warns that excessive expectations and insufficient understanding of the technology may create new risks. Thus, blockchain-enabled accounting may strengthen financial reporting quality through data integrity, traceability, timeliness and verification, but these benefits depend on sound accounting standards, effective data governance, integration with existing systems and competent interpretation. The literature consequently supports blockchain as a potentially important infrastructure for improving accounting information and organisational decision-making, while rejecting the assumption that technological decentralisation alone guarantees high-quality financial reporting.

Blockchain-Enabled Accounting, Stakeholder Confidence and Trust

Stakeholder confidence represents an important outcome of reliable accounting because investors, creditors, regulators, employees, customers and business partners make decisions partly on the basis of their confidence in organisational information. Blockchain may influence stakeholder confidence by increasing the traceability, verifiability and perceived integrity of financial records. In traditional accounting environments, stakeholders often rely on organisational management and external assurance providers to establish the credibility of financial information. Blockchain potentially modifies this relationship by allowing authorised participants to independently verify aspects of transaction histories and by creating a technological record that is resistant to unauthorised retrospective modification. Han et al. (2023) explicitly connect blockchain's immutable, shared and consensus-driven characteristics with improvements in transparency and trust in accounting practice. However, trust in blockchain accounting is more complex than simply trusting the technology. Pflueger et al. (2024) argue that blockchain accounting involves fundamental changes in governance and trust and caution that technological systems do not eliminate the organisational and institutional processes through which trust is established. This distinction is particularly important because stakeholders must trust not only the blockchain protocol but also the organisations operating the network, the accuracy of information entered into the ledger, the rules governing access, the security of private keys and the individuals responsible for maintaining associated accounting systems. The systematic review by Sarker et al. (2024), which examined 155 studies on blockchain governance and trust, similarly demonstrates that trust remains a central issue in blockchain governance and that blockchain may shift trust from interpersonal or institutional relationships towards technological and code-based mechanisms. Empirical evidence outside accounting further indicates that blockchain's relationship with trust may be indirect. Research by Ahmed et al. (2024) found that blockchain did not directly improve social sustainability but operated through social networks and trust, highlighting the importance of stakeholder relationships in translating technological capability into organisational outcomes. Within accounting, this suggests that stakeholder confidence is likely to depend on the combined effects of

transparent records, effective governance, audit assurance, regulatory compliance and users' understanding of blockchain. Excessive technological claims may actually undermine confidence if stakeholders discover that blockchain does not prevent erroneous data entry, fraudulent initiation of transactions or governance failures. Sapra et al. (2024) similarly note that high stakeholder expectations and limited understanding of blockchain can reduce the reliability and relevance of information derived from adoption when appropriate accounting regulations and standards are absent. Stakeholder confidence should therefore be understood as an outcome of technological reliability combined with institutional credibility. Blockchain-enabled accounting can strengthen this confidence by making financial information more traceable and verifiable, but sustainable trust requires transparent governance, professional assurance, regulatory clarity, cybersecurity and meaningful stakeholder engagement.

MATERIALS AND METHODS

A quantitative survey research design was adopted to investigate the relationship between blockchain-enabled accounting systems and financial transparency, auditability, corporate governance, fraud prevention and stakeholder confidence across organisations. The study population comprised accounting professionals, auditors, financial managers, internal-control personnel, corporate administrators and information-technology professionals with relevant organisational experience. A structured questionnaire was developed from the study objectives and constructs established in the literature and administered to 500 respondents. The instrument comprised items measuring blockchain-enabled accounting integration, financial transparency, auditability, corporate governance, fraud prevention and stakeholder confidence using a five-point Likert scale ranging from 1 = strongly disagree to 5 = strongly agree. Data collected from the respondents were analysed using descriptive statistics to determine the distribution and central tendencies of the study variables, Pearson product-moment correlation to establish the strength and direction of relationships among the variables, and multiple regression analysis to determine the predictive contribution of blockchain-enabled accounting to financial transparency, auditability, corporate governance, fraud prevention and stakeholder confidence. The reliability of the research instrument was established using Cronbach's alpha, with coefficients of .70 and above considered indicative of satisfactory internal consistency. Statistical decisions were made at the 0.05 level of significance.

RESULTS AND DISCUSSION

Blockchain-Enabled Accounting as a Predictor of Financial Transparency, Auditability, Corporate Governance, Fraud Prevention and Stakeholder Confidence

The quantitative analysis of data obtained from 500 respondents revealed a strong relationship between blockchain-enabled accounting systems and the organisational outcomes examined. Blockchain-enabled accounting recorded an overall mean of 4.18 (SD = 0.59), indicating a high level of adoption and perceived effectiveness of distributed ledgers, cryptographic verification, immutable transaction records and smart-contract

functionality within accounting processes. Among the outcome variables, financial transparency recorded the highest mean (M = 4.27, SD = 0.55), followed by auditability (M = 4.24, SD = 0.58), corporate governance (M = 4.16, SD = 0.61), fraud prevention (M = 4.12, SD = 0.63) and stakeholder confidence (M = 4.08, SD = 0.65). The reliability analysis produced Cronbach's alpha coefficients of .91 for blockchain-enabled accounting, .89 for financial transparency, .88 for auditability, .90 for corporate governance, .87 for fraud prevention and .92 for stakeholder confidence, demonstrating satisfactory internal consistency across the study constructs. Pearson correlation analysis revealed significant positive relationships between blockchain-enabled accounting and financial transparency ($r = .71$, $p < .001$), auditability ($r = .74$, $p < .001$), corporate governance ($r = .68$, $p < .001$), fraud prevention ($r = .66$, $p < .001$) and stakeholder confidence ($r = .63$, $p < .001$). Multiple regression analysis further showed that blockchain-enabled accounting significantly predicted the combined organisational outcomes, with $R = .79$, $R^2 = .62$, adjusted $R^2 = .61$, $F(5, 494) = 161.84$, $p < .001$, indicating that the model explained approximately 62% of the variance in the composite organisational-performance measure. The individual predictive effects were strongest for auditability ($\beta = .28$, $p < .001$) and financial transparency ($\beta = .26$, $p < .001$), followed by corporate governance ($\beta = .21$, $p < .001$), fraud prevention ($\beta = .17$, $p < .001$) and stakeholder confidence ($\beta = .14$, $p = .002$). The strong positive relationship between blockchain-enabled accounting and financial transparency is consistent with Fang et al. (2023), who reported that blockchain adoption improves accounting information quality and identified corporate governance as an important mechanism underlying this relationship. The comparatively strong association with auditability also corresponds with Han et al. (2023), who identified blockchain's traceability, synchronisation and verifiability as important capabilities for strengthening continuous auditing and assurance processes. Similarly, Elshafie et al. (2024) demonstrated that blockchain adoption by audit clients can enhance auditors' ability to obtain sufficient and appropriate evidence when evaluating accounting estimates. The significant relationship between blockchain-enabled accounting and corporate governance further supports Pflueger et al. (2024), who established that blockchain accounting can influence organisational governance, accountability and trust beyond its role in automating conventional accounting processes. The positive association with fraud prevention is also consistent with Tiron-Tudor et al. (2024), who identified blockchain-based financial reporting as a mechanism capable of strengthening transaction verifiability and reducing opportunities for accounting-data manipulation. Although stakeholder confidence recorded the lowest of the five correlation coefficients, its significant positive relationship with blockchain-enabled accounting indicates that greater transparency, traceability and verifiability of financial information can contribute to stakeholder trust. This finding supports Pflueger et al. (2024), who emphasised that technological mechanisms for establishing reliable records interact with organisational governance, institutional arrangements and human judgement in shaping trust. Overall, the findings demonstrate that blockchain-enabled accounting is significantly associated with financial transparency, auditability, corporate governance, fraud prevention and stakeholder confidence, indicating

that distributed ledger capabilities can strengthen the integrity, traceability and accountability of organisational financial inform

CONCLUSION

Blockchain-enabled accounting systems represent an important technological development with substantial potential to transform the production, verification, monitoring and use of financial information across organisations. This study examined the role of blockchain-enabled accounting in improving financial transparency, auditability, corporate governance, fraud prevention and stakeholder confidence. The findings indicate that blockchain-enabled accounting is positively associated with all five organisational outcomes, with particularly strong relationships observed for auditability and financial transparency. These findings suggest that distributed ledgers, cryptographic verification, immutable transaction records and smart-contract functionality can strengthen the traceability, integrity, accessibility and verifiability of accounting information. The findings are consistent with Fang et al. (2023), who reported that blockchain adoption is associated with improved accounting information quality and identified corporate governance as an important mechanism through which these benefits can emerge. Similarly, evidence on blockchain auditing indicates that the technology can strengthen access to audit evidence and support more continuous, technology-assisted assurance practices (Han et al., 2023; Elshafie et al., 2024). The positive relationship between blockchain-enabled accounting and corporate governance further indicates that transparent and traceable transaction records can enhance organisational monitoring, accountability and control. The significant association with fraud prevention also suggests that blockchain can reduce opportunities for certain forms of transaction manipulation by improving record integrity, traceability and verification, particularly when supported by appropriate internal controls. In addition, the relationship with stakeholder confidence indicates that greater transparency and verifiability of financial information can contribute to stronger perceptions of organisational credibility and accountability. Nevertheless, blockchain should not be regarded as a complete solution to accounting fraud, governance weaknesses or information-quality challenges because the technology cannot guarantee the accuracy of information at the point of entry, eliminate collusion or replace professional accounting and auditing judgement. Pflueger et al. (2024) emphasise that blockchain accounting represents a broader transformation involving organising, governance and trust rather than simply replacing conventional accounting databases. Effective implementation therefore requires complementary investments in cybersecurity, regulatory frameworks, accounting standards, employee competencies, internal controls, data governance and interoperability with existing information systems. The findings demonstrate that blockchain-enabled accounting is most effective when integrated into a broader organisational governance and assurance framework in which technological capabilities are supported by appropriate institutional and professional practices. Its capacity to strengthen the integrity, traceability and verifiability of financial information can contribute to more transparent reporting, stronger auditability, improved corporate governance, enhanced fraud-risk management

and greater stakeholder confidence. Organisations should therefore approach blockchain adoption strategically, considering both its technological capabilities and its institutional limitations. The long-term contribution of blockchain to accounting will ultimately depend not only on the adoption of distributed ledger technology but also on the quality of governance arrangements, accounting expertise, regulatory oversight, data-management practices and assurance mechanisms established around its use. In this context, blockchain-enabled accounting can provide a significant technological foundation for strengthening financial accountability and information quality when implemented within a well-governed, professionally managed and ethically oriented accounting environment.

FUTURE RESEARCH

Future research should move beyond cross-sectional investigations toward longitudinal, multicountry and organisation-level studies examining how blockchain-enabled accounting influences financial transparency, auditability, corporate governance, fraud prevention and stakeholder confidence over time. Comparative studies should evaluate permissioned, public, private, consortium and hybrid blockchain architectures across industries, organisational sizes and regulatory environments to identify differences in accounting outcomes and implementation effectiveness. Further empirical research should examine how cybersecurity, interoperability, accounting standards, employee competence, organisational readiness, smart-contract reliability, data quality and regulatory clarity influence the effectiveness of blockchain-enabled accounting systems. Mixed-method and experimental studies should investigate auditors' adoption behaviour, accounting professionals' competencies, stakeholder perceptions and the effectiveness of blockchain-supported continuous auditing and automated control mechanisms. Future studies should also incorporate independently collected organisational, accounting and financial data, using longitudinal and comparative designs to validate observed relationships and establish stronger evidence concerning the contribution of blockchain-enabled accounting to financial accountability, governance effectiveness and sustainable organisational performance.

References

Ahmed, S., et al. (2024). Exploring the mediating roles of social networks and trust in the blockchain-social sustainability nexus. *Journal of Economic Policy Reform, 27*(3), 293-315. https://doi.org/10.1080/17487870.2024.2364649

Al-Hamadeen, R., et al. (2023). A critical review of auditing at the time of blockchain technology: A bibliometric analysis. *EuroMed Journal of Business, 19*(4), 1173-1201. https://doi.org/10.1108/EMJB-01-2023-0010

Elshafie, E., et al. (2024). Blockchain technology and audit evidence: Implications for auditing accounting estimates. *International Journal of Accounting Information Systems*.

Fang, B., Liu, X., Ma, C., & Zhuo-Soh, Y. (2023). Blockchain technology adoption and accounting information quality. *Accounting & Finance, 63*(4), 4125-4156. https://doi.org/10.1111/acfi.13088

Han, H., Shiwakoti, R. K., Jarvis, R., Mordi, C., & Botchie, D. (2023). Accounting and auditing with blockchain technology and artificial intelligence: A literature review. *International Journal of Accounting Information Systems, 48*, 100598. https://doi.org/10.1016/j.accinf.2022.100598

Juma'h, A. H., & Li, Y. (2023). The effects of auditors' knowledge, professional skepticism, and perceived adequacy of accounting standards on their intention to use blockchain. *International Journal of Accounting Information Systems, 51*, 100650. https://doi.org/10.1016/j.accinf.2023.100650

Li, Z.-R., Li, Y., Lu, L., & Ding, Y. (2023). Blockchain-based auditing with data self-repair: From centralized system to distributed storage. *Journal of Systems Architecture, 137*, 102854. https://doi.org/10.1016/j.sysarc.2023.102854

Pflueger, D., Kornberger, M., & Mouritsen, J. (2024). What is blockchain accounting? A critical examination in relation to organizing, governance, and trust. *European Accounting Review, 33*(4), 1139-1164. https://doi.org/10.1080/09638180.2022.2147973

Sapra, R., et al. (2024). A systematic literature review of blockchain technology and accounting issues: Is it a hype or hope? *South African Journal of Accounting Research, 39*(1). https://doi.org/10.1080/10291954.2024.2371616

Sarker, S., et al. (2024). Blockchain governance and trust: A multi-sector thematic systematic review and exploration of future research directions. *Heliyon, 10*(12), e32975. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e32975

Secinaro, S., Dal Mas, F., Brescia, V., & Calandra, D. (2022). Blockchain in the accounting, auditing and accountability fields: A bibliometric and coding analysis. *Accounting, Auditing & Accountability Journal, 35*(9), 168–203. https://doi.org/10.1108/AAAJ-10-2020-4987

Tiron-Tudor, A., et al. (2024). Blockchain financial statements: Innovating financial reporting, accounting, and liquidity management. *Future Internet, 16*(7), 244. https://doi.org/10.3390/fi16070244

Wang, J. (2023). Research on the construction of accounting information audit quality control system based on blockchain. *Security and Privacy, 6*(2), e227. https://doi.org/10.1002/spy2.227

ALKALOID-MEDIATED MODULATION OF MACROPHAGE INFLAMMATORY RESPONSES: AN EX VIVO APPROACH

Zineb SEKKOUT
Laboratory of Biology and Health, Faculty of Sciences Ben M'Sik, University Hassan II, Casablanca, Morocco.
ORCID ID: 0000-0000-1700-8480
Omaima BOUDAIA
Laboratory of Biology and Health, Faculty of Sciences Ben M'Sik, University Hassan II, Casablanca, Morocco.
ORCID ID: 0000-0001-5303-3680
Driss RADALLAH
Laboratory of Biology and Health, Faculty of Sciences Ben M'Sik, University Hassan II, Casablanca. **ORCID ID:** 0000-0002-7910-3461
Najat EL AMRANI
Laboratory of Biology and Health, Faculty of Sciences Ben M'Sik, University Hassan II, Casablanca, Morocco.
ORCID ID: 0000-0001-5303-3680
EL HAMSAS EL YOUBI Amal
Laboratory of Biology and Health, Faculty of Sciences Ben M'Sik, University Hassan II, Casablanca, Morocco.
ORCID ID: 0000-0001-5303-3680

Abstract
Inflammation is a complex biological process involving the activation of immune cells and the release of numerous inflammatory mediators. Macrophages play a central role in the initiation and regulation of inflammatory responses and therefore represent an important cellular model for evaluating potential anti-inflammatory agents. Natural plant extracts are increasingly investigated as promising sources of bioactive compounds with immunomodulatory properties. The aim of the present study was to evaluate the ex vivo anti-inflammatory activity of an ethanolic extract using macrophages isolated following carrageenan-induced inflammation. Inflammation was induced by carrageenan, followed by the isolation of macrophages from the inflammatory exudate. The isolated macrophages were subsequently used as an ex vivo model to investigate the effects of the ethanolic extract at doses of 300, 400, and 500 mg/kg. The anti-inflammatory activity was assessed by evaluating macrophage activation and selected inflammatory parameters. The effects of the extract were compared with those observed in the carrageenan-induced inflammatory control. The ethanolic extract demonstrated an inhibitory effect on the inflammatory response in isolated macrophages, with variations according to the tested dose. The observed activity suggests that the extract may modulate macrophage-mediated inflammatory processes and may contain bioactive constituents with anti-inflammatory potential. These findings provide preliminary evidence supporting the use of an ex vivo

macrophage model for investigating the anti-inflammatory properties of the studied ethanolic extract and warrant further investigation of the underlying molecular mechanisms.

Keywords: Carrageenan; macrophages; ex vivo inflammation; ethanolic extract; anti-inflammatory activity; macrophage activation; natural products.

POLYHERBAL ORAL DISSOLVING FILMS : FORMULATION STRATEGIES & THERAPEUTIC POTENTIAL OF BOUGAINVILLEA & CILTORIA TERNATEA EXTRACT

Mrs. Bornare Ashwini C.
Mr. Rohan Kherud
Mr. Vikas shinde
Dr. Amol Gayke
Department of Herbal Drug technology, Department of pharmacognosy, Environmental Biotechnology.

1] Abstract:

Polyherbal oral dissolving films (ODFs) offer a convenient novel drug delivery approach for herbal extracts without water**.** ***Bougainvillea*** and ***Clitoria ternatea*** contain flavonoids, phenolic compounds, anthocyanins, and other bioactive constituents associated with antioxidant and anti-inflammatory activities. This review evaluates their therapeutic potential and incorporation into polyherbal ODFs, with emphasis on formulation strategies, excipient selection, preparation methods, and evaluation parameters. Both plants demonstrate reported antioxidant and anti-inflammatory activities and complementary phytochemical profiles. ODFs provide rapid disintegration, convenient administration, water-free dosing, and potentially improved patient acceptability. However, extract variability, taste, polymer compatibility, phytochemical stability, dose uniformity, moisture sensitivity, and standardization remain important challenges. The combination of *Bougainvillea* and *Clitoria ternatea* in an ODF represents a promising polyherbal formulation approach. Further studies on standardization, formulation optimization, stability, phytochemical characterization, in-vitro/in-vivo evaluation, and clinical assessment are required to establish its quality, safety, efficacy, and therapeutic applicability.

2] Introduction :

2.1) Defination of herbal medicine :-

An herb is a plant or part of a plant valued for its medicinal, aromatic, or savoury qualities. Herbs can be viewed as biosynthetic chemical laboratories, producing a number of chemical compounds. Herbal remedies or medicines consist of portions of plants or unpurified plant extracts containing several constituents, which often work together synergistically. Herbal medicine or herbalism is the use of herbs or herbal products for their therapeutic or medicinal value. They may come from any part of the plant but are most commonly made from leaves, roots, bark seeds, and flowers. They are eaten, swallowed, drunk, inhaled, or applied topically to the skin Herbal products often contain a variety of naturally -occuring from plants, many of which contribute to the plant's medicinal benefits. Chemicals known to have medicinal benefits are referred to as "active ingredients" or "active principles" and their presence depends on a number of factors including the plant species, the time and

season of harvest, the type of soil, the way the herb is prepared, etc.

Although herbal medicines have been used as therapeutic agents for human healthcare throughout the human civilization, their use has been challenged by the advent of semi-synthetic and synthetic drugs since the nineteenth century, and more so in the twentieth century. Yet, in recent times, the consumption of plant-based medicines and other botanicals has increased manifold, especially in EU countries and North America. Global sale of herbal medicines and other products is already over US $ 100 billion and is estimated to exceed US $ 1 trillion in the next 20 years.

2.2) Need of novel drug delivery systems :-

In the past few decades, considerable attention has been focused on the development of novel drug delivery system (NDDS) for herbal drugs. The novel carriers should ideally fulfill two prerequisites. Firstly, it should deliver the drug at a rate directed by the needs of the body, over the period of treatment. Secondly, it should channel the active entity of herbal drug to the site of action. Conventional dosage forms including prolonged-release dosage forms are unable to meet none of these. In phyto-formulation research, developing nano dosage forms (polymeric nanoparticles and nanocapsules ,liposomes, solid lipid nanoparticles, phytosomes and nano-emulsion etc.) have a number of advantages for herbal drugs, including enhancement of solubility and bioavailability, pro-tection from toxicity, enhancement of pharmacological activity, enhancement of stability,

2.3) Oral dissolving film :-

a solid dosage form that dissolves or disintegrates quickly in the oral cavity, resulting in solution or suspension without the need for the administration of water, is known as an oral fast-dispersing dosage form. Difficulty in swallowing (dysphasia) is common among all age groups, especially in elderly, and is also seen in swallowing conventional tablets and capsules. Dysphasia is associated with many medical conditions, including stroke, Parkinson's, AIDS, thyroidectomy, head and neck radiation therapy, and other neurological disorders, including cerebral palsy. The most common complaint was tablet size, followed by surface, form and taste. The problem of swallowing tablets was more evident in geriatric and pediatric patients, as well as travelling patients who may not have ready access to water.

2.4) Why choose bougainvillea and clitoria ternate :-

a.) BOUGAINVILLEA :

Quercetin is a flavonoid compound with potent anti-inflammatoty properties. The potential of anti-inflammation can be explained in various cells of human and animal models. It possesses mast cell stabilizing and gastrointestinal cytoprotective activity. In vitro studies on different cell lines suggested that quercetin can inhibit the activity of liposaccharides-induced tumor necrosis factor-α (TNF-α) produced in macrophages and IL-8 production in lungs. In gialel cells, quercetin is effective against LPS-induced TNF-α and interleukin mRNA levels. These mechanisms will diminish neuronal cell death induced by microglial activation. The production of inflammation-producing enzymes cyclooxygenase and lipoxygenase from human umbilical cord blood-derived cultured mast cells, FcRI-mediated pro-inflammatory cytokines, tryptase, and histamine due to which calcium influx, as well

as phospho-protein kinase inhibition, may occur H2O2 or lipopolysaccharide is more effective for the inflammatory response. The antioxidant activity of selenium particle scavenges ROS and RNS. Similarly, modulation of p38 MAPKs and NF-kB reduces inflammatory cytokines like IL-1, IL-2, IL-6, IL-12, and TNF-α In contrast, ROS (Reactive oxygen species), RNS (Reactive nitrogen species), MAPKs (Mitogen-activated protein kinase), and NF-kB (Nuclear factor kappa light chain) are the enhancer of activated B-cells. In an inactive state, pro-inflammatory mediator NF-kB forms a complex with I Kappa B-alpha particles. Selenium nanoparticle inhibits phosphorylation I Kappa B-alpha particles which prevent the release of NF-kB and also inhibit iNOS and COX-2. It can assimilate selenoproteins and increase antioxidant activity, due to which inflammatory response gets reduced. Furthermore, selenium particles also inhibit the PGE2 pro-inflammatory activator cytokines like IL-6 and TNF-α.

b.) CLITORIA TERNATE :

By giving free radicals hydrogen atoms or electrons, antioxidants shield cells from oxidative harm. Blue pea (Clitoria ternatea) blossoms contain anthocyanins that have strong in vitro and in vivo antioxidant activity. These anthocyanins may help prevent oxidative stress-related illnesses like diabetes, cancer, and neurological and cardiovascular disorders. The toxicological safety of blue pea flower extracts has also been documented in studies. At concentrations more than 900 µg/mL, aqueous petal extract did not cause cytotoxicity in human fibroblast (IMR90) cells and protected plasmid DNA and human erythrocytes. Similarly, RAW264.7 cells were not harmed by water extract up to 625 µg/mL. Significant free-radical scavenging action against DPPH, ABTS, and peroxyl radicals was shown by blue pea anthocyanin extracts Ascorbic acid demonstrated a significantly lower IC^{21} of 0.002 mg/mL in a DPPH experiment, indicating higher antioxidant activity than the extract, which displayed an IC•₀ of 0.47 mg/mL. Similarly, in the DPPH (3.32 µg/mL) and ABTS (6.51 µg/mL) experiments, Trolox exhibited lower IC•₀ values than blue pea anthocyanin extract.

Additionally, blue pea anthocyanins demonstrated the capacity to prevent lipid oxidation. After 48 hours, a concentration of 6 mg/mL of anthocyanins isolated from distilled water reduced the production of 7-keto cholesterol by 79.8%, suggesting protection against cholesterol oxidation. A aqueous extract of blue pea petals at 156.3 µg/mL inhibited AAPH-generated free radicals in RAW264.7 murine macrophage cells by about 75–80%. Additionally, via lowering membrane lipid peroxidation, protein carbonyl production, and glutathione depletion, an anthocyanin-rich extract at 400 µg/mL shielded erythrocytes from AAPH-induced oxidative damage. Overall, these results support the potential of blue pea flower anthocyanins as natural antioxidant chemicals by showing that they have substantial free-radical-scavenging, lipid-protective, and cellular antioxidant qualities.

2.5) Purpose Of Review :

The purpose of this review is to provide a comprehensive overview of the polyherbal oral dissolving film (ODF) containing Clitoria ternatea and Bougainvillea extracts. The review focuses on the **botanical characteristics, phytochemical constituents, antioxidant and anti-inflammatory activities, and therapeutic potential** of these medicinal plants. It also discusses the rationale for combining both plants as a polyherbal formulation.

Furthermore, the review aims to summarize the formulation strategies for oral dissolving films, including the selection of film-forming polymers, plasticizers, sweeteners, solvents, preparation methods, and important evaluation parameters. The review also highlights the major challenges, stability considerations, research gaps, and future perspectives associated with developing a standardized and effective polyherbal ODF.

Overall, the purpose is to assess the potential of Clitoria ternatea and Bougainvillea as herbal ingredients in an oral dissolving film and to identify opportunities for further formulation and pharmacological research.

3] Overview of oral dissoling film :-

3.1) Definition :

Oral films, also called oral wafers in the related literature, are a group of flat films which are administered into the oral cavity. Although oral film systems, the third class, have been in existence for a number of years, they have recently become the new area of interest in fast-dissolve pharmaceutical drug delivery. Dissolvable OTF or OS have evolved over the past few years from confection and oral care markets in the form of breath strips and become a novel and widely accepted form by consumers for delivering vitamins and personal care products. Companies with experience in the formulation of polymer coatings containing active pharmaceutical ingredients (APIs) for transdermal drug delivery capitalized on the opportunity to transition this technology to OTF formats. Today, OTF are a proven and accepted technology for systemic delivery of APIs for over-the-counter (OTC) medications and are in the early- to mid-development stages for prescription drugs.





3.2) Advantages of fast dissolving films :

- Convenient dosing.
- No water needed.
- No risk of chocking.
- Taste masking.
- Enhanced stability.
- Improved patient compliance.
- The drug enters the systemic circulation with reduced hepatic first pass effect.
- Site specific and local action.
- Availability of large surface area that leads to rapid disintegration and dissolution within oral cavity.
- Dose accuracy in comparison to syrup.

3.3) Disadvantages of oral dissolving films :

- The disadvantage of OS is that high dose cannot be incorporated into the strip. The dose should be between 1-30 mg.
- There remain a number of technical limitations with use of film strips; the thickness while casting the film. Glass Petri plates cannot be used for casting.
- The other technical challenge with these dosage forms is achieving dose uniformity.

- Packaging of films requires special equipments and it is difficult to pack.

3.4) Classification Of Oral Fast Dissolving Film :

There are three subtypes of oral fast dissolving films:

- Flash release.
- Mucoadhesive melt-away wafer.
- Mucoadhesive sustained release wafers.

3.5) Applications of oral fast dissolving films in drug delivery systems :

Oral mucosal administration via sublingual, buccal, and mucosal routes by use of oral thin film could become favored delivery method for therapies needing quick drug absorption, including those used to manage pain, allergies, sleep, and central nervous system problems.

Topical applications: The use of dissolvable films may be viable in administration of active substances such as analgesic or antibacterial agents in the wound care and other applications.

Gastro retentive delivery system: Water-soluble and poorly soluble molecules of different molecular weights are contained in film formate, and dissolvable films are being investigated in the dose form. The gastrointestinal tract's (GIT) pH or enzyme secretion may cause the film to dissolve, which may be employed to treat gastrointestinal disorders.

Diagnostic devices: Dissolvable films can be filled with sensitive reagents to permit controlled release when exposed to biological fluids or to form isolation barriers that separate different reagents so that a timed reaction can occur inside a diagnostic device.

4] Bougainvillea :-

4.1) Botanical Discription :

Character	Botanical description
Family	Fabaceae (Leguminosae)
Genus	Clitoria
Species	Clitoria ternatea L.
Habit	Perennial herbaceous climber or trailing herb
Root	Tap root, well developed

Stem	Slender, green, twining or trailing, branched
Leaves	Compound, imparipinnate, usually with 5–7 leaflets; leaflets ovate to elliptic
Flowers	Large, showy, solitary or occasionally paired; typically blue to violet, sometimes white
Calyx	Five-lobed, tubular/campanulate
Corolla	Papilionaceous, with a large standard petal and keel petals
Stamens	Usually 10, commonly diadelphous
Ovary	Superior, monocarpellary, containing several ovules
Fruit	Flat, elongated legume/pod, containing several seeds
Seeds	Small, rounded to oval, generally dark brown/blackish
Flowering	Mainly during warm and humid conditions

DIAGRAM OF BOUGAINVILLEA



4.2) Botanical Characterization and Distribution :

The genus Bougainvillea is native to South America and was initially documented in Brazil in 1778 before its introduction to Europe by French military leader Louis Antoine de Bougainville. They are bushes that grow in little trees or vines. Additionally, they have stems with internodes and thorns that are either straight or somewhat bent. The leaves might be oval, petiolate, or broader at the base. Depending on the species, cultivars, or hybrid, the bracts and blooms are displayed in various colours. All year long, they blossom.

According to botanical textbooks, certain species of the genus Bougainvillea are found all over the world and are not exclusive to any one location, species, cultivars, or hybrids. A more thorough investigation was carried out in the scholarly literature based on these findings. In this review, we emphasize a more trustworthy update of the distribution based on scientific research or literature.

(i) B. buttiana : this species was discovered in Thailand [8], Mexico [7], and India [6].

(ii) B. spectabilis : Italy [9], Spain, France [10], Bangladesh [11], India [12], China [13], Egypt [14], Israel [15], Thailand [16], Philippines [17], Madagascar [5], Nigeria [18], Hawaii [2], Bolivia, Colombia, Costa Rica, Cuba, Ecuador, El Salvador, United States of America, Guatemala, Honduras, Virgin Islands, Mexico, Nicaragua, Puerto Rico, Dominican Republic, Venezuela [5], and Brazil [19]. Nigeria [20], the Bahamas, Bolivia, Colombia, Costa Rica, Ecuador, Guatemala, Honduras, Jamaica, Mexico, Panama, Puerto Rico, Dominican Republic, Tanzania, Trinidad and Tobago [5], India [21], Montenegro [22], Pakistan [23], Australia, Brazil [19], and Vietnam [24] are among the countries where reports of **B. spectabilis** have been made.

(iv) B. spinosa: described in Argentina, this plant species has very little documentation [25].

(v) B. peruviana: this rare plant has only been mentioned in scholarly publications from Peru [2], China [13], and India [19].

4.3) Taxonomical Classification :

- Kingdom: Plantae
- Subkingdom: Tracheobionta
- Superdivision: Spermatophyta
- Division: Magnoliophyta
- Class: Magnoliopsida
- Subclass: Caryophyllidae
- Order: Caryophyllales
- Family: Nyctaginaceae

4.4) Phytochemical Constituition :

Phytochemical group	Examples reported in Bougainvillea leaves
Flavonoids	Quercetin, kaempferol and their glycosides
Phenolic compounds	Phenolic acids and other polyphenols
Tannins	Condensed/hydrolysable tannin-type compounds
Saponins	Various triterpenoid/steroidal saponins
Terpenoids	Triterpenes and related compounds
Alkaloids	Alkaloid-type constituents have been reported in screening studies
Steroids/phytosterols	Plant sterol-type constituents
Glycosides	Flavonoid and other glycosides

4.5) Pharmacological activities:

There have been reports of four Bougainvillea species with various cultivars and one hybrid in traditional medicine. The following provides a broader overview of pharmacological studies conducted on several crude extracts and isolated chemical constituents of these species.

Analgesic: Two species of B. glabra and B. x buttiana were shown to exhibit analgesic action; oral administration was assessed in both instances. In male Wistar rats, the tail technique yielded a maximal percentage of analgesic effect of 79.88% for B. glabra methanol extracts. The analgesic efficacy of B. x buttiana (var. Orange) ethanol extracts was investigated in female CD1 mice using formalin and acetic acid. The analgesic percentage for the acetic acid method was 95.65%, but the formalin method's In contrast, the extract demonstrated inhibition in both phases with the formalin technique..

Anti-Inflammatory:

The findings showed that giving rats ethanol extract orally decreased the oedema caused by both techniques. In additional studies, methanol leaf extract from B. spectabilis was administered orally to Swiss mice and assessed by inducing oedema with carrageenin and dextran, as well as arthritis in male Wistar albino rats using Freund's adjuvant. For every inflammation model, **Antipyretic**: Rats given methanol extracts from B. glabra orally demonstrated a notable antipyretic effect.

Antidiabetic: Three species of Bougainvillea were examined for their antidiabetic properties. Male Wistar rats given alloxan were given B. glabra leaf extracts.

Ethanol flower extracts from B. spectabilis were administered orally in similar investigations. Male Wistar rats with diabetes induced by alloxan were used to assess its antidiabetic efficacy. An aqueous extract from the apical leaves of B. spectabilis was given intraperitoneally along with a chloroform extract of the flowers.

Antihyperlipidemic: decrease in total cholesterol (TC), triglycerides (TG), low-density lipoprotein cholesterol (LDL-Cholesterol), and an increase in high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C). In a different study, Wistar rats given an oral injection of ethanol extract of fresh leaves from B. spectabilis demonstrated a significant increase in high-density lipoproteins (HDL) in hypercholesterolemia rats and a significant decrease in total

cholesterol (TC), triglycerides (TG), low-density lipoprotein (LDL), and very low-density lipoprotein (VLDL).

Antidiarrheal: When male Wistar rats were given an acetone extract made from B. glabra "Choicy" leaves orally, a notable antidiarrheal effect was seen.

Antiulcer: Male Wistar rats were used to test the antiulcer effects of oral administration of acetone leaf extracts of B. glabra "Choicy." This extract demonstrated a significant antiulcer activity.

Antifertility: In albino Swiss male and female mice given ethanol extract from B. spectabilis orally, a decrease in testosterone and estrogen levels as well as sperm count, viability, and motility were noted.

Neuroprotective: Drosophila melanogaster fly mortality was used to assess the neuroprotective impact of B. glabra leaves extracted with ethanol. The flies treated with the extract had a decreased death rate, according to the results.

Male Sprague-Dawley rats were subcutaneously injected with rotenone to test the effects of two methanol extracts of B. spectabilis from yellow and pink bracts on oxidative stress and brain damage.

Interleukin-1beta (Il-1β), a proinflammatory cytokine, was found in the brains of rats given rotenone. The extract from B. spectabilis flowers enhanced nitrite levels, lipid peroxidation, and oxidative stress in the brain while blocking PON-1 function. The extract from yellow flowers raised brain Il-1β and decreased BChE activity. However, B. spectabilis extracts boosted brain glutathione (GSH) at low doses while decreasing lipid peroxidation in rats treated with rotenone. With the pink extract, brain nitrite dropped, but with the yellow extract, it increased even more. PON-1 activity was further inhibited by both extracts, whereas BChE activity was further inhibited by the yellow extract. According to histopathological research, both extracts offered protection against the toxicant's effects on the kidneys, liver, and brain.

Thrombolytic: In vitro thrombolytic activity was demonstrated in the blood of healthy volunteers using an aqueous extract of green B. spectabilis leaves and a methanol extract of B. glabra leaves.

Cardiotonic: The isolated frog heart perfusion technique was used to evaluate the cardiotonic properties of an aqueous extract of B. glabra. Heart rate (HR), cardiac output (CO), and contraction force (HR) were among the parameters examined. HR and CO increased as a result of this extract.

Anthelmintic: Methanol extracts from B. glabra were tested against Pheretima posthuma species, and ethanol extracts from Eudrilus eugeniae and Eisenia fetida were compared to the standards metronidazole and albendazole, respectively. All B. glabra extracts have the potential to paralyze and kill worms.

Antimicrobial: The agar diffusion method and dilution methods are the traditional techniques used to assess biological characteristics of plant extracts, such as antibacterial

and antifungal substances.

4.6) Conventional Medical Use:

The species B. buttiana, B. glabra, and B. spectabilis are used in traditional medicine to treat pertussis and coughing. For dysentery, bronchitis, and asthma, B. glabra is advised. It is sometimes recommended for blackheads, rust, pimples, and stomach ache. Other respiratory ailments like bronchitis, fever, and snoring or lung pain are also treated with B. spectabilis. Studies on the traditional medical applications of other Bougainvillea species and hybrids are not documented in the literature. However, because both species are found and recorded in Morelos, Mexico, and are used to cure whooping cough and cough, the hybrid B. x buttiana was mistaken for B. buttiana.

5.]Clitoria ternate (gokarna):

5.1)Botanical description:

Parts	**Description**
Plant	Perennial climber/trailing plant
Rootstock	Woody
Leaves	Imparipinnate; 2–4 pairs of leaflets + 1 terminal leaflet
Leaflets	Ovate to elliptic-oblong, up to 6.5 × 4 cm
Leaf surface	Upper surface mostly hairless; lower surface hairy
Flower	Solitary or paired, axillary; bright and vivid coloured
Pod	Flattened, linear-oblong, 6–13 cm long
Pod surface	Hairless or finely pubescent
Pod tip	Usually mucronate

- **Diagram of Ciltoria ternate :**



- **CHARACTERICT AND DISCRIPTION:**

Character	Description
Habit	Perennial herbaceous twining/climbing plant
Root	Tap root, well developed with lateral branches
Stem	Slender, green, twining and slightly pubescent
Leaves	Compound, imparipinnate; usually 5–7 leaflets; leaflets elliptic to ovate with entire margins
Flowers	Solitary or occasionally paired; large, papilionaceous flowers
Flower colour	Commonly deep blue to violet; white varieties also occur
Calyx	Green, tubular, with five teeth
Corolla	Papilionaceous, with a large standard petal, two wings and two keel petals
Stamens	10, generally diadelphous (9 + 1)
Ovary	Superior, monocarpellary and unilocular
Fruit	Flat, elongated legume/pod
Seeds	Several, rounded to ellipsoid, usually brownish or blackish
Flowering	Generally occurs over much of the year under suitable tropical conditions

5.2) Taxonomical Classification:

- Kingdom : Plantae
- Division : Angiosperms
- Class : Eudicots
- Order : Fabales
- Family : Fabaceae
- Subfamily : Faboideae
- Genus : Clitoria
- Species : L Clitoria ternatea.

5.3) Distribution

The tropical and subtropical regions of Asia, Africa, Australia, and the Americas are home to Clitoria ternatea L. It is frequently found in tropical and subtropical regions of India, especially around roadsides, fences, gardens, fields, and wastelands.

5.4) Phytochemistry:

Category	Key Information
Traditional use	Used as a natural food colour and traditionally for various ailments
Moisture	92.4%
Fat	2.5%
Carbohydrates	2.2%
Fiber	2.1%
Protein	0.32%
Minerals	Potassium, sodium, iron, zinc and magnesium
Major bioactive compounds	Phenols, flavonoids, alkaloids, saponins, glycosides, steroids and resins
Important flavonoids	Kaempferol, rutin, quercetin and myricetin
Anthocyanins	Ternatin pigments
Lipophilic compounds	Phytosterols, tocols and fatty acids
Main activity	Antioxidant and other potential pharmacological activities

5.5)Traditional uses:

The main ingredient of butterfly pea flower tea, a caffeine-free herbal beverage, is dried Clitoria ternatea flowers, which are occasionally mixed with lemongrass. When acidic ingredients like lemon juice are added, the tea's rich blue hue turns purple. Because of its benefits on the neurological system and cognitive function, C. ternatea, also known as Aparajita, has long been utilized in Ayurvedic medicine. It has long been used as a sedative, anxiolytic, antidepressant, anticonvulsant, memory-enhancing, and stress-relieving herb. There are numerous traditional medical use for roots, stems, leaves, seeds, and flowers. Traditionally, the root has been used to treat skin ailments, digestive issues, sore throats, and several nervous system disorders. Additionally, root preparations have long been used as a general tonic to promote health, strength, and memory.Traditionally, seeds and leaves have been linked to enhanced cognitive and memory abilities. Traditionally, seeds have been used to alleviate joint discomfort and urinary issues, while flower juice has been utilized to heal snake bites.

5.6.)Pharmacological activities:

Antioxidant activity*:*

Jeyaraj et al. used ferric reducing power (FRP) and DPPH tests to assess the antioxidant activity of the anthocyanin-rich fraction of C. ternatea flowers. The anthocyanin-rich fraction had an IC•₀ value of 0.86 ± 0.07 mg/mL in the DPPH test. Crude extracts were less effective than the anthocyanin-rich fraction. IC•₀ values for water and solvent extracts were

1.18 ± 0.07 and 1.24 ± 0.05 mg/mL, respectively. Good reducing/antioxidant activity was demonstrated by the FRP test, which yielded 34.5 mg gallic acid equivalent/g extract. The presence of anthocyanins and flavonols in the flowers is primarily responsible for their potent antioxidant effect.

Antifungal activity :

The well diffusion method was used to assess the antifungal activity of floral extracts from C. ternatea on potato dextrose agar (PDA) plates. The C. hoffmannii inoculum was grown in a PDB medium for 48 hours at 27 degrees Celsius and 100 rotations per minute. A spectrophotometer called the V-770, made in Japan by Jasco, was used to regulate the density of the yeast cell culture to 0.5 McFarland units.

The blue blooms of C. ternatea have traditionally been used as an eye remedy, and scientists are currently looking into the potential that these flowers may have therapeutic properties. The results of the investigation showed that C. ternatea flower extracts significantly inhibited the clinical isolate of the fungus Candida hoffmannii. The most inhibitory impact of CFEA was observed at the lowest concentration. The water extract showed no inhibitory effects, however the acetone and petroleum ether extracts showed considerably less inhibitory effects. The average inhibition zone of the active extracts varied.

which varied between 9.83 ± 0.28 and 23 ± 1.0 mm. The CFEA extract showed the strongest antifungal activity, with a range of 11.50 ± 0.50 to 23 ± 1.0 mm.

6]Rationale for polyherbal combination:

6.1) Why unite the two plants?

Rationale based on science

Because of their comparable phytochemical profiles and documented anti-inflammatory and antioxidant qualities, the combination of extracts from Clitoria ternatea and Bougainvillea was chosen. In addition to offering a simple herbal dose form, combining both extracts into an oral dissolving film may result in increased or complementing biological activity. Nevertheless, any synergistic interaction between the extracts must be proven by experimentation.

6.2) Benefits of Bougainvillea + Clitoria ternatea:

complementary profile of phytochemicals:

While Clitoria ternatea is especially rich in anthocyanins (ternatins), flavonoids, and phenolic compounds, Bougainvillea offers phenolics, flavonoids, tannins, and other secondary metabolites.

Possibility of increased antioxidant activity

Antioxidant components are present in both plants. Compared to each extract alone, their combination may offer more extensive free-radical-scavenging activity.

Potential anti-inflammatory benefit:
Both plants' phytochemicals have been shown to have anti-inflammatory properties. When combined, they may have complimentary effects on inflammatory and oxidative stress pathways.

Possible additive/synergistic effect:
Different mechanisms may be used by different phytoconstituents. Additive or synergistic activity is made possible by this.
Important: synergy cannot be taken for granted; it must be proven through experimentation.
Broader therapeutic potential:
The combination can offer a greater variety of bioactive components, possibly boosting both antioxidant and anti-inflammatory activities, rather than depending on the phytochemical profile of a single plant.
Suitable for an oral dissolving film:
Incorporating the combined extracts into an ODF can provide a convenient, rapidly disintegrating, water-free dosage form and may improve patient acceptability.
Potential dose optimization:
If the combination demonstrates enhanced activity, it may be possible to use an appropriate proportion of each extract rather than relying on a high amount of a single extract.

7]Formulation of polyherbal oral dissolving films:

7.1) selection of polymers:

- ***NATURAL POLYMERS:***

A. Pullulan:-
Pullulan is a unique biopolymer with many useful traits and hundreds of patented applications. It is a water soluble, neutral linear polysaccharide consisting of α–1, 6-linked maltotriose residues. It is a fungal exopolysaccharide produced from starch by Aureobasidium pullulan. Commercially pullulan is made from fermentation process.Other microbial sources of pullulan include Tremella mesenterica, Cytaria harioti, Cytaria darwinii Cryphonectria parasitica, Teloschistes flavicans Rhodototula bacarum.
Pullulan has following properties:
It is non-hygroscopic, non-reducing, and impervious to oxygen.It has strong adhesion and film-forming properties, and it dissolves readily in both hot and cold water to create a transparent, viscous solution. Pullulan's main benefits include being a nonionic polysaccharide that is blood compatible, biodegradable, non-toxic, non-immunogenic, non-mutagenic, and non-carcinogenic.After studying the new glucan, Bender et al. (1959) called it "pullulan." Pullulan's fundamental structure was established in the 1960s. Pullulan's special linking pattern gives the polymer unusual physical characteristics, such as adhesive qualities and the ability to produce fibers, compression moldings, and robust oxygen-impermeable coatings.

- ***SYNTHETIC POLYMERS :***

B. Hydroxypropyl Cellulose:

Hydroxypropyl cellulose (HPC This thermoplastic polymer is water soluble and non-ionic. The partly substituted poly (hydroxypropyl) ether of cellulose is known as hydroxypropyl cellulose. NMT 0.6% silica or another appropriate anticaking agent may be present. Commercial HPC comes in a variety of grades with differing solution viscosities. It is well known that films made of polymers with extremely high glass transition temperatures are rigid. The resulting films were found to be stiff, with a high elastic modulus and a very low percent elongation (less than 5%), and to display brittle fracture due to the comparatively high glass transition temperatures of HPC when compared to other film forming polymers. The films typically dissolve slowly, have a decent carrying capacity, and are reasonably clear.

The film-forming properties of HPC are good. Since it is the only thermoplastic cellulose derivative that is soluble in water, it was selected as the main matrix-forming polymer. Depending on its molecular weight, HPC has a softening temperature between 100 and 1500C. It can be used alone or in conjunction with Hypromellose to make flexible films because it lowers surface and interfacial tension in its solution.

B]Hydroxypropyl Methyl Cellulose:

A partially O-methylated and O-(2-hydroxypropylated) cellulose is known as hydroxypropyl methyl cellulose (HPMC) or hypromellose. It is renowned for having outstanding acceptance and good film-forming qualities. Because of their low viscosity, lower grades of HPMC, such as Methocel E3, E5, and E15, are especially useful for film formation.HPMC polymer is categorized based on its viscosity and substituent content, which influences the solubility–temperature relationship. It has a high glass transition temperature. From aqueous solutions, HPMC creates translucent, durable, and flexible films.

C]Polyvinyl alcohol:

Polyvinyl alcohol is a polymer that dissolves in water. The hydroxyl group (-OH) in its structure is what gives it its water-soluble characteristics. PVA is made by hydrolyzing polyvinyl acetate, which is created by polymerizing vinyl acetate. The quantity of acetate groups and the rate of hydrolysis determine the crystallization and dissolution of polyvinyl alcohol.

7.2)Selection of plasticizer:

Glycerol, also called glycerin, is a clear, colorless, odorless, viscous, and hygroscopic liquid. It is a trihydric alcohol with the molecular formula $C_3H_3O_3$. Glycerol is highly soluble in water and is frequently used in pharmaceutical formulations. Glycerol is frequently used as a plasticizer in oral dissolving films (ODFs), improving the film's handling qualities and folding endurance

7.3)Sweetening agents:

Sweeteners are now a crucial component of pharmaceuticals meant to dissolve or

disintegrate in the mouth. Dextrose, sucrose, fructose, glucose, isomaltose, polyhydric alcohols (sorbitol, mannitol), etc. are some of the sweeteners that are frequently used. It is also possible to employ artificial sweeteners such as saccharin, cyclamate, and aspartame (first generation) and acesulfame K, sucralose, alitame, and neotame (second generation).

7.4)Flavoring Agent:

The type and intensity of the flavor determine how much flavoring agent is needed to cover it up. Fruity flavors (vanilla, cocoa, coffee, chocolate, citrus) and flavor oils (peppermint, cinnamon, and nutmeg) are frequently used. Oleo resins, synthetic flavor oils, and extracts from different plant sections, such as fruits and flowers, can also be used to choose flavors.

7.5)Solvants:

Herbal components from Clitoria ternatea and Bougainvillea are extracted using ethanol–water (70:30).

When making the polymer solution and adding the glycerol and herbal extracts to the oral dissolving film, distilled water is utilized.

8]Evaluation of Oral Dissolving Film:

8.2)Thickness:

A micrometer or screw gage can be used to measure a film's thickness at five or more important spots. Determining uniformity in the film's thickness is crucial since it directly affects the film's dosing accuracy.

8.3) Folding endurance test:

Folding endurance is measured by repeatedly folding the film in the same location until it breaks. The folding endurance value is calculated as the number of times the film is folded without breaking.

8.4) Moisture uptake:

The physical stability and integrity of the films at high humidity conditions were examined using the % moisture absorption test. The following method was used to determine the films' moisture absorption capabilities in this investigation. The films were put in the desiccator with a saturated aluminum chloride solution to maintain the humidity inside.
the desiccator at 79.5% relative humidity. The films were collected and weighed after three days to determine the percentage of moisture absorption.

8.5) Tensile strength:

The highest stress that may be applied to a strip specimen until it breaks is known as its tensile strength. It is computed by dividing the provided cross-sectional area of the strip by

the applied load at rupture.I the equation below

Tensile stress(S) = $\frac{Applied\ force}{Cross-sectional\ area} = \frac{mg}{bt}$

Where, S = tensile stress in 980 dynes/cm2
m = mass in grams
g = acceleration due to gravity (980 dynes/cm2)
b = breadth of strip in centimeters
t = thickness of strip in centimeters

8.6) Percent elongation:

Strain is the stretching that occurs when a strip sample is subjected to stress. Strain is essentially calculated by dividing the strip's distortion by the sample's initial dimensions. In general, strip elongation rises with increasing plasticizer concentration.

Strain (E) $= \frac{Total\ elongation}{Original\ length} \times 100 = \frac{L-L0}{L0} \times 100$

Where, L = length after force was applied
L0 = original length

8.7) Weight variation:

The average weight of ten randomly chosen films was determined. For the deviation, each film was weighed and compared to the average weight.

8.8) Drug content:

After being cut, the 2x2 cm2 film was dissolved in distilled water. The mixture was then diluted to 10 milliliters by adding the solvents ethanol and dichloromethane to make the polymer soluble.Distilled water was added to 100 milliliters of the absorbance in a 100 milliliter volumetric flask. After that, 1 milliliter of the solution was sampled at the appropriate nm, and the concentration was determined. The medication content was determined by adjusting the dilution factor.

8.9)Test for disintegration:

to determine the precise amount of time needed for the film to disintegrate. To achieve this, dissolve the prepared film in an appropriate buffer and record how long it takes for the films to break down.

8.10) Dissolution test in vitro:

To determine the film's dissolution behavior, three media were used in the dissolution studies: pure water, simulated saliva made of phosphate buffer (pH 6.8), and simulated stomach humor (pH 1.8).

8.11) Variation in weight:

Weighing oral fast-dissolving films on an analytical scale allowed us to calculate the

average weight of each film. The weight of films should be almost consistent. Making sure a film has the right number of excipients and API is helpful.

8.12)Surface pH of films:

Films are created by dissolving 2% w/v agar in a heated isotonic solution of the required characteristics while stirring, then pouring the solution into a petri dish until it gels at room temperature. The films are then allowed to swell for two hours on the surface of an agar plate.A pH paper applied to the swelling film's surface can be used to test its surface pH.

8.13)In-vitro dissolution studies:

Using (USP) XIV basket apparatus II, the in-vitro dissolution investigation was conducted in 500 ml of pH 6.8 phosphate buffer at 370 ±0.50C and 50 rpm. At intervals of 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, and 10 minutes, the necessary aliquots were taken out of each square cut film sample (dimensions: 2 cm × 2 cm) and replaced with the same volume of dissolving fluid. For each batch, the samples were filtered using Whatman filter paper and subjected to spectrophotometric analysis at 272 nm (Model UV-1800 UV-Visible spectrophotometer, Shimadzu, Japan). Throughout the experiment, sink conditions were kept constant. For every batch, the dissolving test was run in triplicate.

9] Phytochemical study and Quality control:

9.1) Extraction Method:

a)Bougainvillea:

Fresh and Mature Bougainvillea glabra Leaves
↓
Washing with Distilled Water
↓
Shade Drying at Room Temperature
↓
Grinding into Uniform Powder
↓
Methanolic Extraction using Soxhlet Extractor
↓
Concentration at 40°C under Reduced Pressure (72 mbar)
↓

Rotary Evaporation
↓
Lyophilization (Freeze Drying)
↓
Dried Methanolic Extract
↓
Storage in Airtight Container at 4°

9.2) Phytochemical screening

1) Test for flavonoids 2ml of sodium hydroxide was added in 2ml of solvent extract. Appearence of yellow color was regarded as the presence of flavonoids.
2) Test for alkaloids A little amount of picric acid solution was added in 2ml of solvent extract. Formation of orange color showed the presence of alkaloids
3) Test for phenols 2ml of ferric chloride solution was added in 2ml of solvent extract. Formation of deep bluish green solution indicated the presence of phenols.
4) Test for anthraquinones 0.5g of crude powder was added in 10ml of benzene and filtered. Then 0.5ml of ammonia solution was added in the filtrate and shaken well. Violet color in the layer phase indicated the presence of antraquinones.
5) Test for cardiac glycoside 0.5g of extracts was dissolved in 2ml of glacial acetic acid containing 1 drop of ferric chloride. Then 2ml of conc.sulphuric acid was added under layered. Brown ring was formed at interphase indicated the presence of deoxy sugar which is the characteristic of cardiac glycoside.

b)Clitoria ternatea:

resh Clitoria ternatea Flowers
↓
Collection and Cleaning
↓
Washing with Distilled Water
↓
Shade Drying at Room Temperature
↓
Grinding into Coarse Powder
↓
Soxhlet Extraction with Methanol
↓

Filtration of Extract

↓

Concentration using Rotary Evaporator

↓

Drying of Concentrated Extract

↓

Dried Clitoria ternatea Flower Extract

↓

Storage in Airtight Container at 4°C

10] Challenges in Developing Polyherbal Oral Dissolving Film:

- **Variability in herbal extracts:** Plant species, cultivation, location, harvesting season, and extraction technique can all affect the concentration of active phytochemicals.
- **Taste and mouthfeel:** Herbal extracts may taste bitter, astringent, or disagreeable. Therefore, it's crucial to use flavors and sweets to effectively hide taste.
- **Compatibility of extracts with polymers:** Extracts from Clitoria ternatea and Bougainvillea may interact with polymers that create films, like PVA or HPMC, to influence drug release and film formation.
- **Phytochemical stability:** Certain components, especially pigments and polyphenolic compounds, may be susceptible to heat, light, oxygen, moisture, and pH.
- **Optimization of polymer concentration:** Too little polymer might result in brittle or weak films, whereas too much polymer can create thick films that disintegrate more slowly.
- **Optimizing the plasticizer**: excessively much glycerol might make the film excessively soft or sticky, while too little plasticizer can cause brittleness and splitting.
- **Uniform distribution of herbal extracts**:
- **Moisture sensitivity:**
- **Dose uniformity:**
- **Standardization and quality control**
- **Polyherbal compatibility:**.
- **Scale-up and manufacturing:**

11] Future Perspective:

- **Formulation optimization:** Film quality can be enhanced by further optimizing the concentration of HPMC/PVA, plasticizer, sweetener, extract ratio, film thickness, and drying conditions.
- **Standardization of herbal extracts:** To guaranty batch-to-batch consistency, future research should find and measure appropriate phytochemical markers including flavonoids, phenolics, and anthocyanins.
- **Examining synergistic activity:** To ascertain whether Clitoria ternatea and Bougainvillea produce antioxidant and anti-inflammatory effects that are antagonistic, additive, or synergistic, the combined extracts should be examined.
- **Advanced characterization:** Extract–excipient compatibility, phytochemical content, and film structure can be examined using methods like FTIR, DSC, XRD, HPLC/HPTLC, SEM, and antioxidant tests.
- **Better taste masking:** To increase patient acceptability, future formulations may investigate natural flavors, sweeteners, complexation, or other taste-masking techniques.
- **Enhancement of stability:** Sensitive phytochemicals can be shielded against moisture, light, oxygen, temperature, and pH changes by investigating appropriate packaging and formulation solutions.
- **In-vitro and in-vivo investigations:** To determine biological efficacy and safety, appropriate in-vivo studies should be conducted after evaluating drug/extract release, disintegration, antioxidant, and anti-inflammatory activity.
- **Clinical evaluation.**
- **Scale-up and commercialization**.

12] Conclusion:

- **The creation of a polyherbal oral dissolving film (ODF) with extracts from Clitoria ternatea and Bougainvillea** is a promising way to combine the therapeutic potential of medicinal plants with a practical new drug delivery method. The pharmacological activity of both plants may be attributed to a variety of bioactive phytoconstituents, including flavonoids, phenolic compounds, and other antioxidant-related elements.
- **Benefits of the oral dissolving film** include quick disintegration, simplicity of administration, increased patient acceptability, and decreased water requirements. However, careful adjustment of extract concentration, polymer concentration, plasticizer, sweetener, film thickness, drying conditions, mechanical qualities, disintegration time, and stability is necessary for a good formulation.
- **Standardization of both herbal extracts**, exploration of potential synergistic effects, phytochemical characterization, stability studies, and in-vitro/in-vivo evaluation should be the focus of future research. Consequently, the

combination of Clitoria ternatea and Bougainvillea in an ODF has potential as a novel polyherbal formulation; nevertheless, additional research and clinical trials are needed to determine its quality, safety, efficacy, and therapeutic application.

➢ 13] Reference:

1. Ghodake, P.P.; Karande, K.M.; Osmani, R.A.; Bhosale, R.R.; Harkare, B.R.; ―Mouth Dissolving Films: Innovative Vehicle for Oral Drug Delivery‖, International journal of pharma research and review, 2013; 02(10): 41-47.
2. Dhere, P.M.; Patwekar, S.L. Review on preparation and evaluation of oral disintegrating films.Int. J. Pharm. Tech.,2011, 3(4), 1572-1585.
3. Zhang, H.; Zhang, J.; Streisand, J.B. Oral mucosal drug delivery: Clinical pharmacokinetics and therapeutic applications. Clinical Pharmacokinetics.2002, 41, 661-680.
4. Ghodake, P.P.; Karande, K.M.; Osmani, R.A.; Bhosale, R.R.; Harkare, B.R.; ―Mouth Dissolving Films: Innovative Vehicle for Oral Drug Delivery‖, International journal of pharma research and review, 2013; 02(10): 41-47.
5. Florian M. The nature and mechanism of superoxide production by the electron transport chain: Its relevance to aging. J Am Aging Assoc, 23, 2000, 227-253.
6. Bagchi K, Puri S. Free radicals and antioxidants in health and disease. La Revue de Same de la Mediterranee orientale, 4(2), 1998, 350-360.
7. Weiss RF, Fintelmann V. Herbal Medicine. 2nd English edition. New York: Thieme, 2000.
8. Akerele O. Summary of WHO guidelines for the assessment of herbal medicines. Herbal Gram 1993; 28: 13-19.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

BIODIVERSITY CONSERVATION AWARENESS AND SUSTAINABLE UTILIZATION OF NATURAL RESOURCES AMONG RURAL COMMUNITIES IN OGBA/EGBEMA/NDONI LOCAL GOVERNMENT AREA, RIVERS STATE, NIGERIA

Bruno, Ibeabuchi Anwuri.
Dr. Edith Urakpo Nwaeze.
Owurre Isioma Mercy
Biology Education Department Federal college of Education (Technical)Omoku, Onelga, Rivers State. Nigeria.

Abstract
Biodiversity and natural resources constitute important foundations for the ecological stability and socioeconomic wellbeing of rural communities. In Ogba/Egbema/Ndoni Local Government Area (ONELGA) of Rivers State, natural resources include rivers, wetlands, forests, agricultural land, fish, wildlife and other biological resources that support livelihoods. However, continuous exploitation through fishing, hunting, fuelwood collection, deforestation, farming, urban expansion and oil-related activities may threaten the sustainability of these resources. A 2026 study conducted specifically in ONELGA reported low levels of awareness and practice of biodiversity conservation, while documenting exploitation of aquatic animals, wildlife and trees for food, hunting and fuelwood.
This paper examines biodiversity conservation awareness and sustainable utilization of natural resources among rural communities in ONELGA. The study is designed as a questionnaire-based descriptive survey. The proposed study focuses on three major dimensions: biodiversity conservation awareness, sustainable utilization of natural resources, and community participation in conservation. A structured questionnaire titled Biodiversity Conservation Awareness and Sustainable Natural Resource Utilization Questionnaire (BCASNRUQ) will be used for data collection. Data will be analyzed using frequency, percentage, mean, standard deviation and Pearson Product Moment Correlation, while hypotheses will be tested at the 0.05 level of significance. The paper argues that improving conservation awareness alone may not be sufficient unless it is accompanied by community participation, environmental education, sustainable livelihood opportunities, institutional support and effective resource-management practices. The study is expected to provide localized evidence for biodiversity conservation and sustainable natural-resource management in ONELGA.
Keywords: Biodiversity conservation, conservation awareness, natural resources, sustainable utilization, rural communities, ONELGA, Rivers State.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

COMPREHENSIVELY ETHNOBOTANICAL EXPANDING INSIGHTS INTO TRADITIONAL HEALTH PRACTICES IN TAZA PROVINCE, MOROCCO

Dr. Badia El Aarage
Sidi mohammed ben abdellah University, Faculty of Science, Department of biology
ORCID ID: 0009-0008-3538-0054
Prof. Nabil Ghabbour
Sidi mohammed ben abdellah University, Faculty of Science, Department of biology
ORCID ID: 0000-0002-5822-5224

Abstract

Background: This study was conducted among residents of both previously documented communes and communes surveyed for the first time in Taza Province (Morocco). It aimed to update and expand knowledge on medicinal plant species traditionally used in herbal medicine, while highlighting the close relationships between local populations and plant resources, shaped by cultural practices, the transmission of traditional knowledge, and everyday needs.

Methods: An ethnobotanical survey was conducted (March-September 2025) among 186 participants from 10 communities in Taza province, using a semi-structured questionnaire. Data collected, focused on socio-demographic characteristics of the respondents and use of medicinal plants, were exploited for percentages and indices determination. All analyses were performed using IBM SPSS Statistics 26 software and the principal compound analyses (PCA) were done.

Results: The survey of 186 participants revealed a predominance of males (69.89%), married (80.64%), illiterate (65.60%), living mainly in rural areas (77.96%), with a monthly income of less than 2,000MAD (87.63%). Knowledge of medicinal plants came mainly from parents (65.59%). A total of 58 medicinal species, including 35 families, were recorded, with *Mentha pulegium* L., *Rosmarinus officinalis* L. and *Calamintha nepeta* subsp. spruneri (Boiss.) were the most common species. Lamiaceae was the most widely used family (FIV = 203.54; FUV = 1.9). PCA reveals the clear predominance of the Lamiaceae family in local ethnomedicinal practices within the study area. Five species: *Origanum compactum*, *Thymus spp*., *Rosmarinus officinalis*, *Mentha pulegium*, and *Calamintha nepeta* subsp. Spruneri were strongly associated with high ethnobotanical criteria and use frequency.

Conclusions: This study highlights that the use of medicinal plants in the province of Taza reflects both the richness of the local medicinal flora and the importance of ancestral knowledge deeply rooted in the cultural traditions of the population. The strong representation of five species belonging to the Lamiaceae family underscores their central role in local therapeutic practices and provides a relevant basis for the valorization and preservation of ethnobotanical knowledge related to the interaction between communities and plant resources.

Keywords : Medicinal plants, Taza province, Ethnobotanical survey, Quantitative analyses.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

EFFECTS OF GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE-SUPPORTED INQUIRY LEARNING ON SECONDARY SCHOOL STUDENTS' ACHIEVEMENT AND RETENTION IN ELECTRICITY IN MAIDUGURI METROPOLITAN, BORNO STATE, NIGERIA

Onukwube Nnamani
Department of Science Education, University of Maiduguri, Nigeria

ABSTRACT

The persistent difficulty many secondary school students experience in understanding abstract concepts in Physics has continued to raise concerns about the effectiveness of conventional approaches to physics instruction. Generative Artificial Intelligence (AI), when appropriately integrated with inquiry learning, provides opportunities for students to ask questions, explore ideas, receive explanations, and engage more actively with learning content. This study therefore investigated the effects of Generative Artificial Intelligence-Supported Inquiry Learning on secondary school students' achievement and retention in Electricity in Maiduguri Metropolitan, Borno State, Nigeria. The study was guided by two objectives, two research questions, and two null hypotheses tested at the 0.05 level of significance. A quasi-experimental pre-test, post-test, non-equivalent control group design was adopted. The sample comprised 119 Senior Secondary School Two (SS II) physics students from two co-educational public secondary schools selected through purposive sampling. Intact classes were randomly assigned to experimental and control groups. The experimental group was taught Electricity using Generative Artificial Intelligence-Supported Inquiry Learning, while the control group was taught the same content using the conventional lecture method. The treatment lasted six weeks. Data were collected using an adapted Electricity Achievement Test (EAT), consisting of 25 multiple-choice items with four options each. The instrument was validated by experts and yielded a KR-20 reliability coefficient of 0.89. The EAT was administered as a pre-test, post-test immediately after the treatment, and retention test two weeks later. Mean and standard deviation were used to answer the research questions, while Analysis of Covariance (ANCOVA) was used to test the null hypotheses at the 0.05 level of significance. The results showed that students taught using Generative Artificial Intelligence-Supported Inquiry Learning achieved significantly higher post-test scores than those taught using the conventional lecture method, F (1, 116) = 6.849, p = .010. Similarly, students taught using Generative Artificial Intelligence-Supported Inquiry Learning recorded significantly higher retention scores than those taught using the conventional lecture method, F (1, 116) = 8.922, p = .003. The study concluded that Generative Artificial Intelligence-Supported Inquiry Learning improved students' achievement and retention in electricity. It was recommended that physics teachers and school administrators encourage the appropriate integration of Generative Artificial Intelligence-Supported Inquiry Learning into physics instruction and provide the necessary support and resources for its effective use.

Keywords: Generative Artificial Intelligence, Inquiry Learning, Physics Achievement, Retention, Electricity, Secondary School Students

ENHANCING LEARNING INTEREST AND VOLLEYBALL SKILLS AMONG MEDICAL STUDENTS THROUGH AN INTEGRATED PHYSICAL CONDITIONING AND EXTRACURRICULAR VOLLEYBALL PROGRAM

Ph.D. Le Tien De
Can Tho University of Medicine and Pharmacy, Vietnam
ORCID: https://orcid.org/0009-0001-9883-7663

ABSTRACT

Physical education (PE) at medical universities faces significant challenges due to students' rigorous academic workloads and sedentary lifestyles, which often result in diminished physical fitness and a lack of interest in technically demanding sports such as volleyball. Previous evaluations attributing this reluctance merely to single indicators, like grip strength, fail to capture the broader context. In reality, deficiencies in stamina, explosive power, and motor coordination, coupled with monotonous traditional drill-based teaching methods, are the primary culprits for the erosion of learning interest. This applied empirical study evaluates the impact of an integrated training program—combining specialized physical conditioning, structured technical progression, and extracurricular club activities—on the learning interest and volleyball skills of medical students. A 5-week pedagogical experiment was conducted involving 100 students at Can Tho University of Medicine and Pharmacy, Vietnam (50 in the experimental group, 50 in the control group). Statistical analyses, following Shapiro-Wilk and Levene assumptions, revealed that the experimental group demonstrated vastly superior improvements in overall learning interest scores (increasing from 3.25 to 4.22) and practical skills (passing, bumping, serving) compared to the control group ($p < 0.001$). The effect sizes (Cohen's d) were substantial (>1.50 for skills and 1.24 for interest), validating the robust practical significance of this model. While not deeply examining underlying theoretical mechanisms, this study offers vital empirical evidence supporting the diversification of instructional methodologies, emphasizing foundational physical development, and expanding extracurricular sporting environments to elevate the quality of physical education for health science students.

Keywords: *Volleyball, Learning Interest, Medical Students, Physical Conditioning, Sports Club.*

1. INTRODUCTION

Physical education (PE) constitutes an indispensable component of the higher education system in Vietnam, strictly governed by Circular No. 25/2015/TT-BGDĐT issued by the Ministry of Education and Training. The objective of PE extends beyond merely equipping students with motor skills; it aims to cultivate physical health, alleviate stress, and foster lifelong exercise habits. However, for students majoring in Medicine and Pharmacy, specifically at Can Tho University of Medicine and Pharmacy (CTUMP), the implementation of PE encounters unique barriers.

A prominent characteristic of medical students is the immense academic pressure they face. Their schedules are heavily consumed by theoretical lectures, laboratory practicals, and notably, extended clinical night shifts at hospitals. Consequently, a sedentary lifestyle has

become prevalent. This condition invariably leads to comprehensive physical deterioration, encompassing cardiovascular endurance, muscular strength, explosive power, and motor coordination (Huynh et al., 2023; Lipert et al., 2020; Lobelo et al., 2009).

In this context, engaging in standard volleyball—a sport demanding high specialized physical fitness, vertical jumping ability, and rapid reflexes—often overwhelms students and induces psychological apprehension. Previously, some assessments highlighted the remarkably weak localized physical strength of these students. For instance, a study by Huynh et al. (2023) on first-year CTUMP students revealed an average dominant hand grip strength of merely 25.7 ± 9.9 kg, with a very low pass rate (only 8.3% 'pass' and 2.8% 'good'). While weak grip strength partially explains the fear of pain when bumping or passing a standard (hard and heavy) volleyball, relying solely on this single metric to rationalize overall physical inadequacy and lack of learning interest represents a myopic perspective.

The decline in learning interest and poor academic outcomes stem from a cascade of interconnected factors:

- Comprehensive physical deficits: It is not merely hand strength, but also explosive power (required for airborne techniques) and speed endurance (needed to retrieve the ball) that fail to meet the sport's demands.
- Passive instructional methodologies: The repetitive nature of dry, mechanical skill exercises (drill-based) frequently induces boredom.
- Lack of a sustaining environment: Extracurricular exchange spaces and competitions have not been optimally leveraged to stimulate intrinsic motivation for voluntary training.

Although numerous studies have corroborated the role of specialized physical conditioning exercises in enhancing volleyball performance (Gabbett, 2008), the majority focus on general non-major students or youth athletes. Currently, there is a dearth of empirical research simultaneously evaluating the impact of a program integrating specialized physical conditioning, technical refinement, and extracurricular participation on the learning interest and volleyball skills of health science students. This gap serves as the foundation for this study, thereby affirming the applicability of a novel pedagogical trajectory contributing to the enhancement of PE quality at the institution.

2. LITERATURE REVIEW

2.1. Learning Interest in Physical Education

Interest is a specific cognitive attitude of a subject toward an object, eliciting a sense of pleasure and propelling action. In volleyball, interest manifests across four dimensions: cognitive (understanding the benefits), affective (enjoyment), in-class behavior (active practice), and extracurricular behavior (proactive participation in clubs and tournaments). Research by Tran et al. (2023) at Hue University demonstrated that selecting an appropriate exercise regimen aids students in overcoming initial timidity, enhances social interaction, and transforms PE classes into positive recreational activities rather than mandatory chores. Recent international studies also indicate that integrating diverse physical and extracurricular activities positively impacts the academic engagement and sustains the intrinsic motivation of medical students (Lonsdale et al., 2013; Standage et al., 2005).

2.2. The Role of Specialized Physical Fitness in Volleyball

Volleyball is a non-contact sport that nonetheless requires complex, coordinated movement sequences within confined spaces and extremely brief timeframes. Therefore, specialized physical fitness plays a decisive role. Nguyen (2025), in a study at Hai Phong University, successfully formulated six specialized physical conditioning exercises for non-major students, significantly improving movement speed and explosive power. For CTUMP students, compensating for specialized physical deficits (such as explosive power, agility, and core strength) is a mandatory prerequisite before demanding flawless execution of passing, bumping, or serving techniques.

2.3. Extracurricular Environments and Student Sports Clubs

Physical conditioning cannot be confined to merely 2-3 mandatory class periods per week. According to Nguyen et al. (2024), student volleyball club activities face numerous limitations but remain the core factor in sustaining the sports movement. Students exhibit a substantial need for social interaction and recreation post-study. At CTUMP, tournaments like the 'United Volley Cup 2025' serve as positive indicators. Integrating a student-oriented approach toward club participation into the exercise system fosters a holistic learning ecosystem, transmuting extrinsic motivation (grades) into intrinsic motivation (passion, cohesion).

3. RESEARCH AND FINDINGS

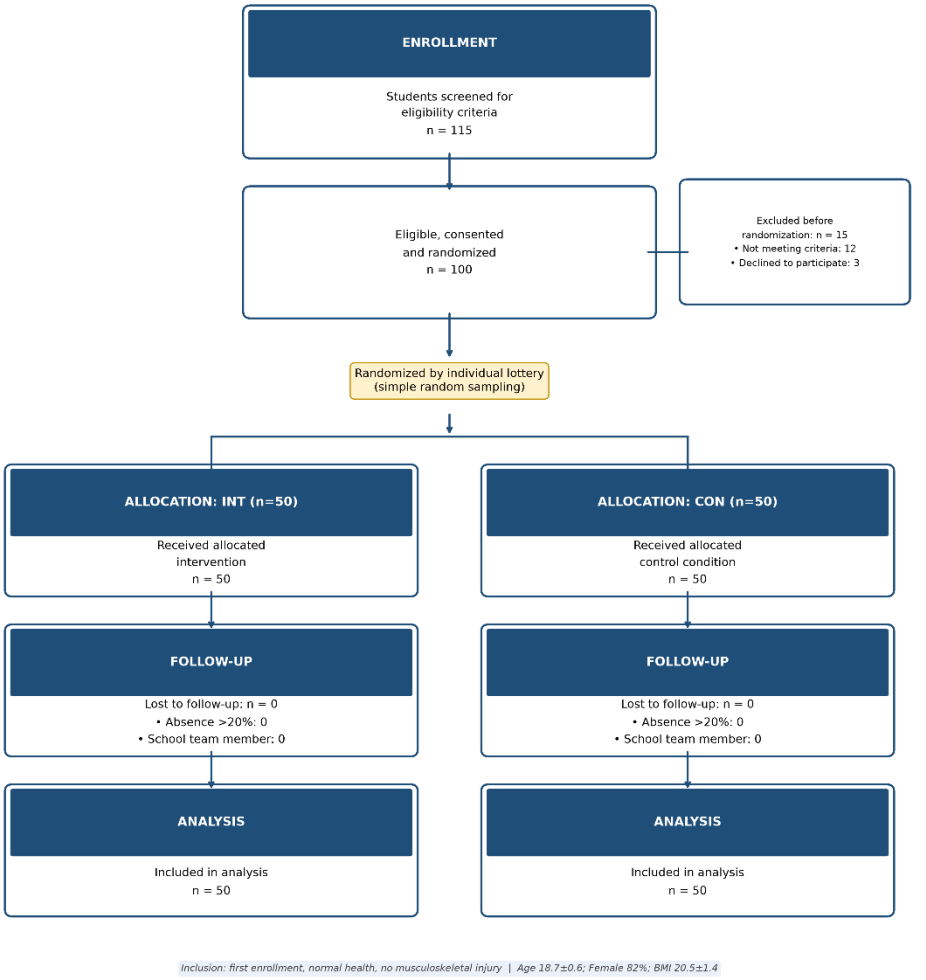
3.1. Participants and Selection Criteria

Research subjects: The teaching and learning process of Physical Education (Volleyball module) at Can Tho University of Medicine and Pharmacy. Inclusion criteria encompassed: first-time enrolled students, normal health status (certified by the university medical center), and no history of musculoskeletal injuries. Exclusion criteria included: students absent for over 20% of the classes or those currently serving as members of the university's sports teams.

A total of 100 students meeting the criteria were randomly divided via individual drawing (simple random sampling) into an Experimental Group (EG, n=50) and a Control Group (CG, n=50). Demographic characteristics indicated an average age of 18.7 ± 0.6 years, a female majority (82%), and a normal average BMI (20.5 ± 1.4).

Figure 1. Study Flow Diagram (CONSORT)

Population: Volleyball students – Can Tho University of Medicine and Pharmacy (n = 100 analyzed)



Inclusion: first enrollment, normal health, no musculoskeletal injury | Age 18.7±0.6; Female 82%; BMI 20.5±1.4

Table 1: Demographic characteristics of the study sample

Characteristic	EG (n=50)	CG (n=50)	p-value
Age (Years)	18.7 ± 0.6	18.8 ± 0.5	0.38
Gender (Female/Male)	41 / 9	41 / 9	1.00
BMI (kg/m²)	20.4 ± 1.5	20.6 ± 1.3	0.47

3.2. Time and Location

The experiment was conducted over 5 academic weeks (2 periods/session and 3 sessions/week) at the CTUMP volleyball courts. The selection of the 5-week timeframe was directly predicated on the current curriculum design of the Physical Education module at the university, ensuring practical feasibility without disrupting the core academic schedules of medical students.

3.3. Research Methods and Measurement Tools

The study utilized documentation analysis, expert interviews, pedagogical testing, sociological surveys, and pedagogical experiments. Learning interest was measured using a 5-point Likert scale (23 observational variables). The scale's reliability was rigorously tested, yielding a Cronbach's Alpha coefficient of 0.89. Practical skills were evaluated on a 10-point scale by two independent examiners. The Intraclass Correlation Coefficient (ICC) reached 0.92, reflecting exceedingly high consistency in scoring.

Data were processed using SPSS. Prior to conducting Independent t-tests and Paired t-tests, the data were checked for normal distribution via the Shapiro-Wilk test ($p > 0.05$) and for homogeneity of variances via Levene's Test ($p > 0.05$). Effect Size was calculated using Cohen's d with a 95% Confidence Interval (95% CI).

3.4. Structure of the Intervention Program

The intervention system for the EG was structured into a comprehensive capability development roadmap over 5 weeks:

- Phase 1 (Weeks 1-2): Physical compensation and ball familiarization. Upper limb strengthening exercises (improving grip and shoulder strength). Lateral, backward movement, and stationary jumping exercises without the ball. Small-group tossing and catching games to mitigate fear of the ball.
- Phase 2 (Weeks 3-4): Formation of basic techniques combined with specialized physical conditioning. Overhead passing and bumping against a wall or with a tosser. Combined with timed zig-zag ball retrieval movements. Underhand serving over a lowered net.
- Phase 3 (Week 5): Technical coordination and extracurricular environment development. Combined bumping - passing - light spiking exercises. Introduction of internal, friendly match formats. Homework assignment: Requiring students to participate at least 1 session/week at the university Volleyball Club. Tracking data indicated a compliance rate for extracurricular club participation in the EG reached 94% (averaging 1.3 sessions/week).

3.5. Research Ethics

The research was conducted based on students' voluntary participation. All participants were clearly informed about the research objectives, the right to personal information confidentiality, and the right to withdraw from the study at any time without affecting their academic grades.

3.6. Research Results

Pre-test Evaluation: To ensure experimental objectivity, physical fitness, skills, and interest of both groups were tested prior to intervention. Results (Independent T-test) showed $p > 0.05$ across all indicators, confirming that EG and CG commenced from a level playing field.

Post-test Effectiveness after 5 Weeks: Practical skills were assessed on a 10-point scale by two independent examiners. Concurrently, questionnaires measuring 4 components of interest were distributed and collected at a 100% rate.

Indicator (Post-test)	EG (M ± SD)	CG (M ± SD)	p-value	EG Growth (%)
Overhead Pass	8.45 ± 0.65	7.12 ± 0.85	< 0.001	+65.7%
Bumping	8.30 ± 0.70	6.95 ± 0.90	< 0.001	+59.6%
Underhand Serve	8.50 ± 0.60	7.40 ± 0.80	< 0.001	+60.4%
Interest Score (Total Mean)	4.22 ± 0.58	3.37 ± 0.78	< 0.001	+29.8%

Effect Size Calculation:

Indicator	Cohen's d	95% CI	Effect Level
Overhead Pass Technique	1.76	[1.31, 2.21]	Very Large
Bumping Technique	1.69	[1.24, 2.14]	Very Large
Underhand Serve Technique	1.56	[1.12, 2.00]	Very Large
Learning Interest (Total Mean)	1.24	[0.83, 1.65]	Large

4. CONCLUSION

The study indicates that the integrated intervention program generated an extremely robust practical effect (Cohen's d > 1.50 for skills and 1.24 for interest). The sudden surge within a brief 5-week period can be partially explained by a 'novelty effect' as students were introduced to diverse learning methods for the first time, coupled with high training frequency (3 sessions/week). This cumulative workload adheres to the principle of progressive overload (Gabbett, 2008), facilitating a qualitative leap.

By integrating zig-zag jumps, stationary vertical jumps, and light resistance exercises into the warm-up, EG students improved their explosive power and movement speed. When their legs moved nimbly to the ball's precise landing spot, confidence surged, and technical errors diminished. Compensating for foundational physical fitness, refining techniques, and engaging in the social space of extracurricular clubs interacted synergistically, thereby contributing to alleviating the psychological barrier of ball apprehension among medical students. It must be explicitly affirmed that this superior efficacy is the resonant impact of the entire integrated program, not attributable to a singular element.

Limitations

Several limitations must be acknowledged. First, the study did not design component control groups (e.g., a physical-only group or a club-only group), precluding quantitative isolation of individual variables' independent contributions. Second, the short intervention duration (5 weeks) is susceptible to novelty effects or the Hawthorne effect. Furthermore, the study lacks an assessment of long-term retention post-intervention. These present critical directions for future longitudinal studies.

Final Verdict

The integrated training program (combining specialized physical fitness, tiered techniques,

and extracurricular club activities) yields a comprehensive and highly practical improvement in the learning interest and volleyball skills of students at Can Tho University of Medicine and Pharmacy. Multidimensional assessments prove that medical students require holistic solutions rather than isolated motor indicators. It is recommended that the Physical Education Department at CTUMP update this exercise regimen into the detailed syllabus for the Volleyball module, alongside continued investment by university administration in regular playgrounds like the 'United Volley Cup'.

REFERENCES

Chen, A. (2001). A theoretical conceptualization for motivation research in physical education: An expectancy-value approach. Quest, 53(1), 35–58. https://doi.org/10.1080/00336297.2001.10491727

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

Gabbett, T. J. (2008). Do skill-based conditioning games offer a specific training stimulus for junior elite volleyball players? *Journal of Strength and Conditioning Research, 22*(2), 509–517. https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181634550

Huỳnh, K. Q., Huỳnh, C. N. M., Đồng, L. M. Q., et al. (2023). Nghiên cứu lực bóp cơ tay thuận và các yếu tố liên quan trên sinh viên năm thứ nhất Trường Đại học Y Dược Cần Thơ năm 2022. *Tạp chí Y Dược học Cần Thơ, 60*, 45–50. https://tapchi.ctump.edu.vn/index.php/ctump/article/view/1883

Lipert, A., Jegier, A., et al. (2020). Physical activity of future health care professionals: Adherence to current recommendations. *Medycyna Pracy, 71*(5), 539–549. https://doi.org/10.13075/mp.5893.00976

Lobelo, F., Duperly, J., & Frank, E. (2009). Physical activity habits of doctors and medical students influence their counselling practices. *British Journal of Sports Medicine, 43*(2), 89–92. https://doi.org/10.1136/bjsm.2008.055426

Lonsdale, C., Rosenkranz, R. R., Peralta, L. R., Bennie, A., Fahey, P., & Lubans, D. R. (2013). A systematic review and meta-analysis of interventions designed to increase moderate-to-vigorous physical activity in school physical education lessons. *Preventive Medicine, 56*(2), 152–161. https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2012.12.004

Ministry of Education and Training. (2008). *Decision No. 53/2008/QĐ-BGDĐT dated September 18, 2008, on promulgating the regulation on assessing and classifying the physical fitness of pupils and students*.

Ministry of Education and Training. (2015). *Circular No. 25/2015/TT-BGDĐT dated October 14, 2015, stipulating the physical education curriculum within higher education training programs*.

Nguyễn, Đ. S., Nguyễn, Q. S., & Trần, Đ. T. (2024). Hoạt động của câu lạc bộ bóng chuyền sinh viên: Nghiên cứu thực trạng tại Đại học Kinh tế Thành phố Hồ Chí Minh, Phân hiệu Vĩnh Long. *Tạp chí Giáo dục, 24*(10 đặc biệt), 359–363.

Nguyễn, H. P. (2025). Nghiên cứu lựa chọn bài tập phát triển thể lực chuyên môn môn bóng chuyền cho nam sinh viên hệ không chuyên Trường Đại học Hải Phòng. *Tạp chí Giáo dục*

và Xã hội, 1(2), 108–112.
Rao, C. R., Darshan, B. B., Das, N., Rajan, V., Bhogun, M., & Gupta, A. (2012). Practice of physical activity among future doctors: A cross-sectional analysis. *International Journal of Preventive Medicine, 3*(5), 365–369. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22708033/
Standage, M., Duda, J. L., & Ntoumanis, N. (2005). A test of self-determination theory in school physical education. *British Journal of Educational Psychology*, *75*(3), 411–433. https://doi.org/10.1348/000709904X22359
Trần, T. T., Trần, T. T. L., et al. (2023). Lựa chọn và ứng dụng một số bài tập nhằm tăng hứng thú tập luyện trong môn bóng chuyền cho sinh viên Đại học Huế. *Tạp chí Khoa học và Đào tạo Thể dục Thể thao*.

CONTEMPORARY SOCIETY AND CRIME

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

Contemporary society is characterized by profound social, economic, technological and cultural transformations that have significantly influenced the nature and dynamics of criminality.

Globalization, rapid technological development, urbanization, social inequalities, economic insecurity and the expansion of digital communication have created both new opportunities for social development and new vulnerabilities that can be exploited by criminal actors.

Crime is no longer limited to traditional forms of offending occurring within clearly defined geographical boundaries. Cybercrime, online fraud, identity-related offences, financial crime, organized crime and technology-facilitated forms of violence increasingly operate across national borders.

This article examines the relationship between contemporary society and criminality from a socio-legal and criminological perspective. It explores the main social and economic factors associated with criminal behaviour, the transformation of traditional forms of crime and the emergence of new forms of criminality associated with digitalization.

Particular attention is given to social exclusion, poverty, unemployment, educational disadvantage and inequality as factors that may increase vulnerability to criminal involvement, while emphasizing that such factors do not determine individual criminal behaviour.

The article also analyses the challenges faced by criminal justice systems in responding to technologically sophisticated and transnational forms of crime. Finally, the paper argues for integrated prevention strategies combining social policies, education, community intervention, technological capabilities and effective legal mechanisms.

Keywords: contemporary society, crime, criminality, criminology, social inequality, poverty, digitalization, cybercrime, criminal justice, crime prevention

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

FACTORS INFLUENCING INCIDENTAL VOCABULARY LEARNING AND RETENTION AMONG EFL LEARNERS: A SYSTEMATIC REVIEW

Bessma Hamama
Ph.D. Candidate, Literature, Arts and Pedagogical Engineering Research Laboratory, Faculty of Languages, Letters and Arts, Ibn Tofail University, Kenitra, Morocco
Samia Moustaghfir
A Professor at the Faculty of Dental Medicine in Casablanca.

ABSTRACT
Incidental vocabulary learning plays an important role in second and foreign language acquisition, as learners often acquire new lexical items while engaging in meaning-focused activities such as reading, listening, and viewing multimedia materials. However, the effectiveness of incidental vocabulary learning and the extent to which newly acquired words are retained may vary according to a range of instructional, linguistic, and learner-related factors. This systematic review aims to identify and synthesize empirical research examining the factors that influence incidental vocabulary learning and retention among learners of English as a Foreign Language (EFL). Particular attention is given to factors such as frequency of exposure, glossing, input modality, contextual richness, learner proficiency, depth of processing, and the interval between learning and delayed assessment. The review follows systematic-review procedures guided by the PRISMA framework. Relevant empirical studies are identified through searches of major academic databases using combinations of keywords related to incidental vocabulary learning, vocabulary acquisition, vocabulary retention, and EFL learning. Studies are screened according to predetermined inclusion and exclusion criteria, and eligible studies are analyzed in terms of participants, learning conditions, research design, vocabulary measures, and reported outcomes. By integrating findings across previous research, the review seeks to clarify which factors are most consistently associated with successful incidental vocabulary acquisition and longer-term retention. The findings are expected to provide a clearer understanding of current research trends, methodological patterns, and gaps in the literature, while offering implications for vocabulary instruction and future research in EFL contexts.
KEYWORDS: Incidental vocabulary learning, vocabulary retention, EFL learners, vocabulary acquisition, systematic review

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

COMPARATIVE STUDY OF 3D-PRINTED AND TRADITIONALLY MANUFACTURED MECHANICAL PARTS: A REVIEW-BASED COMPARATIVE ENGINEERING ANALYSIS

Imoh Ime Ekanem
Department of Mechanical Engineering, Akwa Ibom State Polytechnic, Ikot Osurua, Ikot Ekpene, Nigeria. (Corresponding Author)
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-8973-9260
Aniekan Essienubong Ikpe
Department of Mechanical Engineering, Akwa Ibom State Polytechnic, Ikot Osurua, PMB.
1200, Nigeria.
ORCID ID: https://orcid.org/ 0000-0001-9069-9676
Michael Okon Bassey
Department of Mechanical Engineering, Akwa Ibom State Polytechnic, Ikot Osurua, Ikot Ekpene, Nigeria.
ORCID ID: https://orcid.org/0009-0000-0055-4028

ABSTRACT
This study presents a structured comparative analysis of 3D-printed and traditionally manufactured mechanical parts across seven key engineering dimensions: manufacturing process and design flexibility, material properties and microstructure, dimensional accuracy and surface quality, mechanical performance under load, cost and production economics, sustainability and environmental impact, and quality assurance with hybrid manufacturing potential. Representative literature-informed data for common polymer and metal material pairs (PLA/ABS, nylon-carbon fiber, AlSi10Mg, and wrought aluminum/steel) are synthesized and analyzed using comparative charts, radar plots, and cost models. The findings indicate that additive manufacturing offers superior geometric freedom, shorter lead times for low-volume and complex parts, and lower tooling costs, but generally exhibits greater anisotropy, higher porosity, rougher as-built surfaces, and wider variability in mechanical performance relative to traditionally manufactured counterparts. Traditional processes remain superior for high-volume production, tight tolerances, and predictable fatigue life, but require substantial tooling investment and lead time. A break-even analysis shows additive manufacturing is economically favorable below approximately 2,000-2,500 units for the studied geometries, beyond which traditional processes dominate. The findings revealed that neither route is universally superior; rather, hybrid manufacturing strategies that combine additive freedom with subtractive precision represent the most promising direction for future mechanical part production.

Keywords: Additive manufacturing, 3D printing, CNC machining, mechanical properties, production cost, hybrid manufacturing.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

GEOSPATIAL ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL NOISE POLLUTION PATTERNS IN GANDU SARKI AND GIMARE COMMUNITY LAFIA, NASARAWA STATE NIGERIA.

Abdullahi, Zainab Suleiman
Jibrin Suleiman Yaro
Ezekiel Ayiwulu
Jibrin Abdullahi Suleiman
Leo. Abejide
Dept of Geography Federal University of Lafia, Nasarawa State
Dept of Physics Federal University of Technology Owerri, Imo State
Dept of Geology Federal University of Lafia, Nasarawa State

ABSTRACT

Environmental noise pollution has increasingly become a concern of urban environment in rapidly developing communities especially in areas experiencing intensified commercial activities, vehicular movement and growing student populations. The present study evaluated the spatial distribution of environmental noise pollution in Gandu and Gimare communities, Lafia Local Government Area, Nasarawa State, Nigeria.The study was conducted to identify areas where noise levels exceed the acceptable limits set by the World Health Organization (WHO) and the National Environmental Standards and Regulations Enforcement Agency (NESREA) and to examine the spatial variations of noise pollution in the study area. The study used descriptive and geospatial research design including field measurements of noise levels at fourteen sampling points (seven in each community) in morning and evening hours. The geographical coordinates were recorded at all sampling points and the questionnaire data from 396 respondents were used to complement the environmental assessment. Collected data was summarized with descriptive statistical techniques and spatial noise distribution patterns were generated in ArcGIS using GIS-based Inverse Distance Weighting (IDW) interpolation. The results showed that six (42.9%) sampling locations had mean noise levels above the NESREA recommended limit of 55 dB(A) during the day for residential areas. The highest noise levels were observed at Gandu Junction (87 dB(A)) and Charging Booth, Gimare (86 dB(A)). The GIS analysis suggested that higher noise levels were spatially clustered around major road intersections, commercial activity zones and other high intensity activity areas, while lower noise levels were found in less disturbed residential and peripheral areas. The study establishes that noise pollution in Gandu and Gimare communities exhibits clear spatial variability, with specific locations emerging as significant noise hotspots. It recommends continuous GIS-based noise monitoring, effective enforcement of environmental noise regulations and improved spatial planning strategies to reduce exposure and enhance environmental quality.

Keywords: Environmental noise pollution; Inverse Distance Weighting (IDW); Noise hotspots; NESREA; Lafia.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

BEYOND VISUALIZATION: INTEGRATING GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR CLIMATE-RESPONSIVE ARCHITECTURAL EDUCATION: A PEDAGOGICAL FRAMEWORK FROM PAKISTAN

Ar. Hafiz Muhammad Ahmed Nadeem
(Corresponding Author), Assistant Professor, Dept. of Architecture Design, NFC-IET Multan,
Ar. Syeda Mahwish Zara
Assistant Professor & COD Dept. of Architecture Design, NFC-IET Multan
Ar. Dr. Omer Shujat Bhatti
Associate Professor & COD, Dept. of Architecture, School of Architecture & Planning, UMT, Lahore.
Ar. Shayan Zulfiqar
Practicing Architect, IEB Nexus Hub, Dubai

Abstract

The swift rise of Generative Artificial Intelligence (GenAI) has profoundly altered architectural design education by broadening avenues for conceptualization, visualization, and cooperative learning. Nonetheless, in numerous architectural institutions, especially in poor nations, GenAI is primarily utilized for image creation and presentation instead of facilitating climate-responsive design ideation and informed decision-making. Additionally, climate change has heightened the demand for architecture graduates equipped with skills in environmental assessment, passive design techniques, contextual adaptability, and sustainable solutions. These concurrent advancements underscore the imperative to reevaluate architectural education by including AI as a collaborative teaching ally instead of solely a visualization instrument.

The present paper introduces an innovative educational structure, the Climate–AI Studio Framework (CASF), aimed at incorporating Generative AI into climate-sensitive architectural training in Pakistan. Utilizing a qualitative conceptual research methodology reinforced by a comprehensive survey of current literature, the study incorporates recent developments in Generative AI, architectural education, sustainable design pedagogy, and climate awareness. The proposed framework structures AI-supported learning into five sequential stages: **Climate Analysis**, **Contextual Understanding**, **Sustainable Design Ideation**, **Environmental Evaluation**, and **Reflective Design Learning**. Together, these phases show how AI may assist architectural students at every stage of the design process while preserving human creativity, moral reasoning, expert judgment, and sense of context. The suggested framework presents GenAI as a cooperative intellectual partner that can improve environmental literacy and sustainable design competency, in contrast to current methods that mainly concentrate on AI-assisted visualization. For architecture schools looking to safely introduce AI into studio instruction while meeting the educational needs of climate resilience and digital transformation, the study offers a flexible pedagogical strategy. Despite being created for Pakistan, the framework has wider applicability for architecture schools in the Global South that deal with comparable environmental,

technological, and educational concerns.

Keywords:
Future Architectural Practice, Climate-Responsive Design, Design Studio Pedagogy, Higher Education, Artificial Intelligence in Architecture, and Generative Artificial Intelligence (GenAI).

ENHANCING ELECTROCHEMICAL ACTION OF SURFACE FUNCTIONNALIZED CARBON NANODOTS TOWARDS RUSTPROOFING MILDSTEELS UNDER ACIDIC CONDITIONS : EXPERIMENTAL APPROACH

Assia AZOUAGHE
LCM2E, Laboratory of Molecular Chemistry, Materials and Environment, Multidisciplinary Faculty of Nador (MFN), Mohammed First University, B.P 300, Selouane 62700 Nador, Morocco.
Mohamed EL MAHAMDI
LCM2E, Laboratory of Molecular Chemistry, Materials and Environment, Multidisciplinary Faculty of Nador (MFN), Mohammed First University, B.P 300, Selouane 62700 Nador, Morocco.
Walid DAOUDI
Laboratory of Education, Sciences and Techniques, Higher School of Education and Training of Berrechid, Hassan First University, B.P :218, University Avenue, Berrechid.
Abdelmalik EL AATIAOUI
LCM2E, Laboratory of Molecular Chemistry, Materials and Environment, Multidisciplinary Faculty of Nador (MFN), Mohammed First University, B.P 300, Selouane 62700 Nador, Morocco.

Low Carbon Steels are highly prone to decay and deteriorations under corrosive and acidic conditions. In this study, we're providing an insight into the corrosion inhibition performance of fuctionalized Carbon NanoDots in a 1M Hydrochloric acid medium through the following electrochemical techniques including Potentiodynamic Polarization and Complex Impedance Spectroscopy. The Corrosion Rate and Inhibition efficiency have been investigated with both of the cited approaches at various inhibitor's concentrations and temperatures. The results clearly confirmed an expanding in the inhibition efficiency of the nanoparticles with heteroatom doping, from 91.43% for the undoped CDs to 95.2% for the doped one at 500 ppm concentration and at 293.15 K as the r.T according to the nyquist approach. Scanning electron microscopy (SEM) analyses support the inhibitory behavior of the nanomaterial, demonstrating the production of a defensive layer on the surface of bare Mild Steels.

Key Words : Functional Nanoparticles – Carbon Dots – Nitrogen doping – Inhibition effiiency

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

HYDROTHERMAL SYNTHESIS OF BARIUM IRON SULFIDE-REDUCED GRAPHENE OXIDE NANOCOMPOSITE FOR HIGH PERFORMANCE SUPERCAPACITOR

Muhammad ISMAIL
Department of Physics, Government Graduate College Taunsa Sharif, 32100 Pakistan
ORCID ID: 0009-0002-0945-8790

ABSTRACT

The manufacturing of effective and economical electrode materials is vital for energy storage devices. Nanocomposite materials are suitable for energy storage devices because they deliver better performance and stability. In this study, $BaFe_2S_4$ and $BaFe_2S_4$/rGO nanocomposites were prepared utilizing a facile hydrothermal approach to improve energy storage properties. Electrochemical methods such as galvanostatic charge-discharge, electrochemical impedance spectroscopy, cyclic voltammetry, as well as chronoamperometry were applied to evaluate electrochemical behavior of $BaFe_2S_4$ as well as $BaFe_2S_4$/rGO nanocomposite. $BaFe_2S_4$/rGO nanocomposite has an electrochemical capacitance of 945.25 F g^{-1}, an energy density of 7.66 Wh kg^{-1} and a power density of 121 W kg^{-1} at a current density of 1 A g^{-1}. Usage of rGO increased specific capacitance and improved interface area, leading to more active sites, which allows for faster ion transport between the electrolyte and electrode surfaces. $BaFe_2S_4$/rGO nanocomposite demonstrates potential for future capacitive electrodes in energy storage devices.

Keywords: $BaFe_2S_4$/rGO nanocomposite; Electrode material; Hydrothermal method; Supercapacitors.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

NANOMATERIAL-BASED TRANSDERMAL DRUG DELIVERY FOR SKIN-RELATED DISORDER

Babita Gupta
PhD Scholar, Integral University, Lucknow, UP, India

Abstract:
Transdermal drug delivery systems (TDDS) have been extensively studied in recent decades due to their several advantages, including enhanced compliance among patients, optimized drug release, targeted administration to specific tissues, and bypassing the liver's systemic processing. Nevertheless, the outermost layer of the skin, known as the stratum corneum, acts as the primary barrier that limits the rate at which medications can pass through the skin. This has consistently been an obstacle in TDDS. Nanomaterial-based TDDS present a promising method for treating skin-related disorders, as they focus on the distinctive characteristics of nanomaterials to improve drug penetration, stability, and targeted delivery. The purpose of this study is to investigate the existing developments in NTDDS, with a particular emphasis on the various types of nanomaterials, such as liposomes, nanoparticles, nanoemulsions, and nanofibers, and the function that these nanomaterials play in infractions the stratum corneum barrier. These NTDDS can permeate the outermost layer of the skin, known as the stratum corneum, and acquire at the intended site. Novel nanocarriers can increase dermal localization of bioactive in dermatological treatments, delivering medications directly to target cells. It also explores the mechanisms of drug permeation, the potential for sustained and controlled drug release, and the specific advantages offered in treating conditions such as psoriasis, eczema, and skin cancers. This review aims to underscore their transformative potential in enhancing therapeutic outcomes and patient compliance in dermatological care.

Keywords: Drug Delivery, Nanocarrier, Stratum corneum, Skin Disorder, Topical Delivery, Target Cell

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

BUSINESS FEASIBILITY STUDY OF DAPUR NUSANTARA RESTO

Haliza Moy
Sonny V. Sutedjo
President University

ABSTRACT:
Dapur Nusantara resto is a restaurant concept that offers a variety of authentic Javanese dishes from West Java, Central Java, and East Java, prepared using traditional recipes, fresh ingredients, and selected spices. The restaurant combines authentic flavors with a comfortable dining atmosphere featuring traditional Javanese elements and friendly service. Located in Lippo Cikarang, Bekasi, the business targets industrial and office workers, families, students, local residents, and Indonesian culinary enthusiasts, with additional services for catering and group orders. Dapur Nusantara serves customers through dine-in, take-away, and food delivery platforms such as GoFood, GrabFood, and ShopeeFood, supported by Instagram and TikTok for marketing activities. The business requires an initial investment of IDR 1,000,000,000. Based on the five-year financial projection, sales are expected to increase from IDR 1.19 billion in Year 1 to IDR 3.90 billion in Year 5, with positive cash flow starting in Year 2. The investment is projected to reach a Payback Period of approximately 3 years and 9 months and generate a positive Net Present Value of IDR 1.41 billion at a 5% discount rate.
***Keywords**: Feasibility study, business plan, Javanese cuisine, restaurant business*

INTRODUCTION

The foodservice industry is one of the sectors that continues to grow, both globally and nationally. This growth is supported by changes in lifestyle, urbanization, increasing income levels, and consumers' growing demand for convenient and high-quality food. In Indonesia, the foodservice market is projected to continue growing at a CAGR of 12.84% during the 2025–2031 period, with the Full-Service Restaurant segment being one of the largest categories. This condition indicates that Indonesian consumers continue to have a strong interest in dining at restaurants.

On the other hand, traditional food continues to have strong appeal in Indonesia. A 2025 survey by Paxel found that the ten most preferred foods among Indonesians were traditional dishes, including rendang, fried rice, pempek, Madura satay, gudeg, and gado-gado. In addition, research by Jakpat (2025) found that 77% of Indonesians prefer local cuisine over foreign cuisine when eating outside the home. These findings indicate that Indonesian traditional cuisine still has significant market potential, particularly when it is developed in a way that meets the needs and preferences of today's consumers.

This condition can also be observed in Lippo Cikarang, an area consisting of industrial zones, offices, residential areas, and various centers of community activity. The area has approximately 67,088 residents and serves as a workplace for around 661,408 workers each day, creating significant market potential for culinary businesses. In addition, Javanese

dishes such as fried rice, Madura satay, Malang meatballs, gudeg, and gado-gado are widely recognized by people from various regions. This is one of the reasons why Dapur Nusantara focuses on Javanese cuisine.

Dapur Nusantara, with the tagline "Warisan Rasa di Setiap Sajian" or "Heritage Flavors in Every Dish," is a restaurant that focuses on a variety of authentic Javanese dishes from West Java, Central Java, and East Java. The restaurant offers authentic flavors, friendly service, and a comfortable dining atmosphere with traditional elements. Through this concept, Dapur Nusantara aims to become one of the preferred dining destinations in the Lippo Cikarang area for customers seeking authentic Javanese cuisine in a comfortable and traditional setting.

RESULTS AND FINDINGS

PESTLE Analysis

a) Political

The political factor affecting Dapur Nusantara is primarily related to government policies regarding halal product assurance. Through Government Regulation (PP) No. 42 of 2024, the government regulates the obligation to obtain halal certification for food and beverage products according to the applicable implementation stages. Dapur Nusantara plans to obtain halal certification from the beginning of its operations to comply with government regulations while also increasing consumer trust.

b) Economic

Indonesia's economic conditions provide opportunities for the culinary industry. According to the business plan, Indonesia's economic growth in 2025 reached 5.11%, while the Accommodation and Food Service sector in Bekasi Regency recorded a Gross Regional Domestic Product (GRDP) of approximately IDR 2.74 trillion. However, increases in food commodity prices, such as rice, chili, shallots, chicken, cooking oil, and meat, may increase Dapur Nusantara's operating costs. Therefore, the business needs to manage its inventory efficiently, work with multiple suppliers, and regularly evaluate its pricing strategy.

c) Social

Indonesian consumers continue to show a strong preference for local cuisine. Data presented in the business plan indicates that 93.51% of restaurants in Indonesia serve Indonesian cuisine, while Jakpat research shows that 77% of Indonesians prefer local cuisine over foreign cuisine when eating outside the home. In addition, Lippo Cikarang has approximately 67,088 residents and serves as a location for the daily activities of around 661,408 workers. This condition aligns with Dapur Nusantara's concept of offering authentic Javanese cuisine.

d) Technological

Technology supports Dapur Nusantara in both marketing and payment transactions. The

restaurant utilizes Instagram and TikTok to introduce its menu and promotional activities, while GrabFood, GoFood, and ShopeeFood are used to expand its sales channels. The use of QRIS also provides customers with greater convenience in making payments. Therefore, technology enables Dapur Nusantara to reach a wider range of consumers while making the purchasing and payment process more convenient.

e) Legal

Dapur Nusantara needs to comply with various legal requirements, particularly obtaining a Business Identification Number (NIB) through OSS-RBA, fulfilling halal certification requirements, and implementing food hygiene and sanitation standards in food preparation. Compliance with these regulations is necessary to ensure that business operations are conducted legally and to maintain food safety and product quality.

f) Environmental

Restaurant operations generate food waste and packaging waste. The business plan indicates that food waste is one of the major components of waste generation. Therefore, Dapur Nusantara plans to manage raw materials more efficiently, sort operational waste, and reduce the use of single-use plastic in takeaway services.

Porter's Five Forces

a) Competitive Rivalry Among Existing Competitors

Competition among restaurants in the Lippo Cikarang area is relatively high because there are many restaurants offering both Indonesian and international cuisine. Consumers have numerous dining alternatives, requiring Dapur Nusantara to establish clear differentiation. Dapur Nusantara relies on authentic Javanese cuisine, a traditional restaurant atmosphere, friendly service, and social media marketing as its main points of differentiation.

Intensity: High

b) Bargaining Power of Suppliers

Dapur Nusantara requires raw materials such as rice, chicken, meat, vegetables, chili, and spices. Since there are many suppliers available, the restaurant has alternatives and can switch suppliers if the price or quality does not meet expectations. However, fluctuations in food commodity prices may still affect operating costs. To address this issue, Dapur Nusantara plans to work with more than one supplier.

Intensity: Moderate

c) Bargaining Power of Buyers

The bargaining power of buyers is relatively high because consumers in Lippo Cikarang have many restaurant options and can easily switch to other restaurants if the price, taste, or service does not meet their expectations. Therefore, Dapur Nusantara needs to maintain food quality, service, and cleanliness while offering prices that are appropriate for the quality of its products.

Intensity: High

d) Threat of Substitute Products or Services

The threat of substitutes is relatively high because consumers can choose not only Indonesian restaurants but also cafés, international restaurants, local eateries, and food delivery services. To reduce this threat, Dapur Nusantara offers distinctive Javanese flavors, a comfortable dining atmosphere, and a dining experience that forms an integral part of its overall value proposition.

Intensity: High

e) Threat of New Entrants

The restaurant business is relatively easy to enter because business licensing processes are supported by the OSS-RBA system. The continued growth of the foodservice industry may also attract new business entrants. Dapur Nusantara addresses this condition by building a clear identity as a Javanese cuisine restaurant, maintaining product and service quality, and developing long-term relationships with customers.

Intensity: High

Business Model Canvas (BMC)

The *Business Model Canvas (BMC)* is used to describe the business model of Dapur Nusantara through nine key elements: value proposition, customer segments, channels, customer relationships, revenue streams, key resources, key activities, key partnerships, and cost structure. The BMC provides an overview of how Dapur Nusantara creates value, reaches customers, generates revenue, and manages its operations in a structured manner.

1. **Value Proposition**

Dapur Nusantara offers traditional Javanese cuisine prepared using traditional recipes, authentic flavors, fresh ingredients, and selected spices. A variety of dishes, such as Garang Asem, Tongseng Kambing, Rawon, and Gudeg, are served in a comfortable restaurant with a distinctive Javanese atmosphere.

2. **Customer Segments**

The target customers include industrial and office workers, families, students, residents of Lippo Cikarang and Bekasi, and enthusiasts of Indonesian cuisine. Dapur Nusantara also targets companies, communities, and institutions for catering services and group orde

3. **Channels**

Dapur Nusantara utilizes dine-in, take-away, and food delivery services through GrabFood, GoFood, and ShopeeFood. Promotion is carried out through Instagram and TikTok to expand market reach and increase customer engagement.

4. **Customer Relationships**

Customer relationships are developed through friendly and responsive service, consistent food quality and cleanliness, promotions and value packages, complaint handling, and the delivery of information through social media.

5. **Revenue Streams**

The main revenue streams come from food and beverage sales, family packages, and value meal packages. Additional revenue is generated from catering services, group orders, and sales through food delivery platforms.

6. **Key Resources**

Key resources include the business location, kitchen equipment, high-quality ingredients, recipes and standard operating procedures (SOPs), employees, the Dapur Nusantara brand, social media platforms, and cashier and digital payment systems such as QRIS.

7. **Key Activities**

Key activities include food preparation, procurement of raw materials, customer service, management of online orders, digital marketing, menu development, inventory management, and evaluation of product and service quality.

8. **Key Partnerships**

Dapur Nusantara's key partners include suppliers of raw materials and spices, staple food suppliers, food delivery platforms such as GrabFood, GoFood, and ShopeeFood, QRIS payment providers, and local food influencers to support marketing activities.

9. **Cost Structure**

The main cost structure includes raw material purchases, employee salaries, rent, electricity, water, gas, marketing and promotional expenses, take-away packaging, equipment maintenance, and other operational expenses.

Financial Feasibility

Dapur Nusantara is fully funded by an initial owner investment of IDR 1,000,000,000, allocated mainly to employee salaries, inventory, rent, equipment, furniture, marketing, renovation, packaging, and working capital. Sales are projected to increase from IDR 1.19 billion in Year 1 to IDR 3.90 billion in Year 5, with net income increasing from IDR 136.74 million to IDR 2.02 billion. Total assets are also projected to grow from IDR 1.13 billion to IDR 4.33 billion, while cash flow becomes positive from Year 2 and reaches IDR 1.76 billion in Year 5. The initial investment is expected to be recovered within approximately 3 years and 9 months, while the NPV at a 5% discount rate is positive at IDR 1.41 billion. In addition, ROA, ROS, and ROI show an increasing trend throughout the five-year projection, indicating improved profitability and financial performance.

Table 1.3 Source and Funding Statement of Dapur Nusantara

Source	Amount (IDR)
Owner Investment	1,000,000,000
Total	**1,000,000,000**
Cost	**Amount (IDR)**
Marketing and Promotion	37,150,640
Packaging Material	27,022,450
Inventory	212,070,839
Equipment	56,900,785
Furniture	42,088,726
Employee Salary	397,800,000
Rent Area	144,000,000
Building Renovation	50,000,000
Cash (Working Capital)	32,966,560
Total	**1,000,000,000**

Source: Author's compilation, 2026

Table 1.4 Income Statement of Bakmie Selawase (IDR)

	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5
Gross Sale	1,190,554,000	1,428,664,800	1,857,264,240	2,600,169,936	3,900,254,904
COGS (30%)	357,166,200	428,599,440	557,179,272	780,050,981	1,170,076,471
Gross Profit	**833,387,800**	**1,000,065,360**	**1,300,084,968**	**1,820,118,995**	**2,730,178,433**
Marketing and Promotion	37,150,640	38,636,666	40,182,132	41,789,418	43,460,994
Salaries	397,800,000	397,800,000	397,800,000	397,800,000	421,668,000
Gas	10,086,240	10,489,690	10,909,277	11,345,648	11,799,474
Internet	12,000,000	12,000,000	12,480,000	12,979,200	13,498,368
POS System	3,588,,000	3,731,520	3,880,781	4,036,012	4,197,453
Rent	144,000,000	144,000,000	149,760,000	155,750,400	161,980,416

Building Renovation	50,000,000	-	-	-	-
Water & Electricity	41,339,160	42,992,726	44,712,435	46,500,933	48,360,970
Total Expense	**695,964,040**	**649,650,602**	**659,724,626**	**670,201,611**	**704,965,675**
Net Income Before Tax	137,423,760	350,414,758	640,360,342	1,149,917,345	2,025,212,758
Tax (0.5%)	687,119	1,752,074	3,201,802	5,749,587	10,126,064
Net Income	**136,736,641**	**348,662,685**	**637,158,541**	**1,144,167,758**	**2,015,086,694**
Monthly Net Income	11,394,720	29,055,224	53,096,545	95,347,313	167,923,891

Source: Author's compilation, 2026

Table 1.3 Balance Sheet of Bakmie Selawase (IDR)

	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5
Cash	825,676,291	951,664,595	1,355,015,035	2,253,684,288	4,010,997,552
Inventory	212,070,839	222,674,381	233,808,100	245,498,505	257,773,430
Equipment	56,900,785	51,21,707	46,089,636	41,480,672	37,332,605
Equipment Depreciation	(5,690,079)	(5,121,071)	(4,608,964)	(4,148,067)	(3,733,261)
Furniture	42,088726	37,879,853	34,091,868	30,682,681	27,614,413
Furniture Depreciation	(4,208,873)	(3,787,985)	(3,409,187)	(3,068,268)	(2,761,441)
Total Assets	**1,126,837,690**	**1,254,520,480**	**1,660,986,489**	**2,564,129,811**	**4,327,223,299**
Owner Fund	990,101,049	905,857,795	1,023,827,948	1,419,962,054	2,312,136,605
Retained Earning	136,736,641	348,662,685	637,158,541	1,144,167,758	2,015,086,694
Total Liabilities & Equity	**1,126,837,690**	**1,254,520,480**	**1,660,986,489**	**2,564,129,811**	**4,327,223,299**

Source: Author's compilation, 2026

Table 1.4 Cash Flow Statement of Bakmie Selawase (IDR)

	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5

Beginning Balance	1,000,000,000	825,676,291	951,664,595	1,355,015,035	2,253,684,288
Sales Revenue	1,190,554,000	1,428,664,800	1,857,264,240	2,600,169,936	3,900,254,904
COGS (30%)	357,166,200	428,599,440	557,179,272	780,050,981	1,170,076,471
Marketing and Promotion	37,150,640	38,636,666	40,182,132	41,789,418	43,460,994
Salaries	397,800,000	397,800,000	397,800,000	397,800,000	421,668,000
Water & Electricity	41,339,160	42,992,726	44,712,435	46,599,933	48,360,970
Rent Area	144,000,000	144,000,000	149,760,000	155,750,400	161,980,416
Building Renovation	50,000,000	-	-	-	-
Gas	10,086,240	10,489,690	10.909,277	11,345,648	11,799,474
Internet	12,000,000	12,000,000	12,480,000	12,979,200	13,498,368
POS System	3,588,000	3,731,520	3,880,781	4,036,012	4,197,453
Inventory	212,070,839	222,674,381	233,808,781	245,498,505	257,773,430
Equipment	56,900,785	-	-	-	-
Furniture	42,088,726	-	-	-	-
Tax (0.5%)	687,119	1,752,074	3,201,802	5,749,587	10,126,064
Total Cash Outflows	**1,364,877,709**	**1,302,676,496**	**1,453,913,799**	**1,701,500,683**	**2,142,941,640**
Cash Flow	**(174,323,709)**	**125,988,304**	**403,350,441**	**898,669,253**	**1,757,313,264**
Ending Balance	**825,676,291**	**951,664,595**	**1,355,015,035**	**2,253,684,288**	**4,010,997,552**

Source: Author's compilation, 2026

Table 1.5 Payback Period of Bakmie Selawase (IDR)

	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5
Initial Investment	1,000,000,000				
Cash Flow	(174,323,709)	125,988,304	403,350,441	898,669,253	1,757,313,264
Cumulative Cash Flow	**(174,32,3709)**	**48,335,405**	**355,015,035**	**1,253,684,288**	**3,010,997,552**

Source: Author's compilation, 2026

Table 1.7 Ratio Analysis of Bakmie Selawase

Ratio	Year 1	Year 2	Year 3	Year 4	Year 5

Return on Asset (ROA)	12%	28%	38%	45%	47%
Return on Sales (ROS)	11%	24%	34%	44%	52%
Return on Investment (ROI)	14%	35%	64%	114%	202%

Source: Author's compilation, 2026

CONCLUSION

a. Dapur Nusantara resto focus on authentic Javanese cuisine from West Java, Central Java, and East Java, combined with its traditional Javanese atmosphere and friendly service, provides a clear point of differentiation. This differentiation needs to be consistently maintained through product quality, service, and customer experience.

b. The projected Payback Period of approximately 3 years and 9 months and the positive NPV of IDR 1.41 billion at a 5% discount rate indicate that Dapur Nusantara is financially feasible based on the five-year projection. The business is also projected to generate increasing net income and profitability ratios throughout the projection period, providing a positive financial basis for the implementation of the business plan.

REFERENCES

Badan Pusat Statistik. (2026). Ekonomi Indonesia Tahun 2025 Tumbuh Sebesar 5,11 Persen.

Badan Pusat Statistik Kabupaten Bekasi. (2025). Kabupaten Bekasi dalam Angka 2025.

Badan Penyelenggara Jaminan Produk Halal. (2026). Program Sertifikasi Halal Gratis (SEHATI) Tahun 2026.

Jakpat. (2025). 77% Masyarakat Indonesia Lebih Memilih Kuliner Lokal Dibandingkan Kuliner Asing.

Mordor Intelligence. (2025). Indonesia Foodservice Market: Growth, Trends, Forecast (2025–2031).

Paxel. (2025). Top 10 Makanan Terenak di Indonesia.

PT Lippo Cikarang Tbk. (2025). Annual Report 2024.

Pemerintah Republik Indonesia. (2024). Peraturan Pemerintah Nomor 42 Tahun 2024 tentang Penyelenggaraan Bidang Jaminan Produk Halal.

Pemerintah Republik Indonesia. (2025). Peraturan Pemerintah Nomor 28 Tahun 2025 tentang Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Risiko.

Santhi, K. H. D. D., & Sonny. (2020). Business Feasibility Study of Gapura Restaurant in Nusa Dua–Bali.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

CREATING BALANACE BETWEEN ACADEMIC AND ADMINISTRATIVE TIME BY SCHOOL LEADERSHIP

Dr Irfan Bashir
Prof Dr Rizwan Akram Rana
Dr Afshan Naseem
Dr Fariha Gul
Prof Dr Yasira Waqar
Dr Aisha Sami
Dr Almas Shoaib
Dr Aqila Rafique
DR Farhat Munir
Dr Sajid Masood
Dr Faisal Anees
University of Management and Technology Lahore, Pakistan

Abstract
The study investigates needs and strategies of academic and administrative time management reported by school heads. It further explores the effect of age and experience on time management strategies. A 5-point Likert type scale-based questionnaire was prepared to get data on the need of time management for the secondary schools ' heads. The target population was the head teachers of secondary schools in Lahore city, Pakistan. The sample of 300 secondary school heads were taken randomly. A questionnaire were distributed and data was collected at the spot primarily. The collected data was analyzed with the help of SPSS (statistical packages for social sciences). The findings showed that there are certain rules of time management by using which, head teachers can increase their work efficiency and productivity of work. Principals hold and practice myths about time that produce only frustration. Time myths are nothing more that false ideas of how people structure their time. For the effective use of time planning, organization is essential. A positive attitude of principals were observed about need and strategies for effective time management skikls. The study suggests a need to develop a plan by the principals, otherwise they will allocate time according to whatever happens or land on desk. The head teacher must identify their time waster and they should manage their time wasters by using their management techniques or tips.
Key Words: principals, secondary schools, time management, needs and strategies

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

AWARENESS AND DISPOSITION TOWARDS MENTAL HEALTH CHALLENGES AMONG UNDERGRADUATES IN A TERTIARY INSTITUTION IN NIGERIA

Ilochi Nwabunwanne Ogadinma
[1]Department of Human Physiology, Faculty of Basic Medical Sciences, Federal University, Otuoke, Bayelsa State, Nigeria.
Anyanwu Frances Chidiebere
Department of Human Physiology, Faculty of Basic Medical Sciences, College of Medicine, Madonna University, Nigeria
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-9708-2190

ABSTRACT
The stigma surrounding mental ill health is a significant challenge in healthcare, affecting the quality of care and outcomes for patients with mental health conditions. Understanding the knowledge and attitudes of undergraduate nursing students towards mental illness is essential for improving the care of patients with mental health conditions. The focus of this study was to assess the knowledge and attitude towards mental ill health among student nurses in Madonna University, Elele, Rivers State. Objectives of the study are; Determine the knowledge of student nurses on mental ill health in Madonna university, assess the attitude of student nurses towards mental ill health in Madonna university, identify the strategies to improve the attitude of student nurses towards mental ill health in Madonna university. A cross sectional descriptive quantitative research design was used for this study, the study was carried out in Madonna university. The target population comprised of 332 nursing students in their third and fourth year of study. The sample size of for this study was 180 nursing students. A self-structured questionnaire was used as an instrument for data collection, validity was ensured using face validity and the reliability coefficient obtained was 0.93% using spearman's rank order correlation. Data generated was described and analyzed using data analysis tool such as frequency distribution tables and percentages. The study findings revealed adequate knowledge of mental ill health among undergraduate nursing students but when it came to the attitude of nursing students towards the care of mentally ill patients, some of them had negative attitude towards the care of mentally ill patients with an exception of a few students. However, based on the findings, it was recommended that nursing schools should review their curricula to ensure that they incorporate comprehensive mental health education which includes a broad understanding of mental health disorders, evidence-based interventions, and the role of nurses in mental health care delivery.

Keywords: Knowledge, Attitude, Mental Ill Health and Student Nurses.

STRUCTURE–PROPERTY RELATIONSHIPS IN EU^{3+}-DOPED STRONTIUM PHOSPHATE GLASSES: IMPLICATIONS FOR PHOTONIC AND PHOTOVOLTAIC APPLICATIONS

El Mahdi Bouabdalli
Laboratory of Computer Science and Interdisciplinary Physics (LIPI), Higher Normal School of Fes (ENS-Fes), Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco.
Laboratory of Engineering Sciences for Energy (LabSIPE), National School of Applied Sciences, Chouaib Doukkali University, El Jadida 24000, Morocco.
Mohamed El Jouad
Laboratory of Engineering Sciences for Energy (LabSIPE), National School of Applied Sciences, Chouaib Doukkali University, El Jadida 24000, Morocco.
Samira Touhtouh
Laboratory of Engineering Sciences for Energy (LabSIPE), National School of Applied Sciences, Chouaib Doukkali University, El Jadida 24000, Morocco.
Ilyass El kadmiri
Laboratory of Computer Science and Interdisciplinary Physics (LIPI), Higher Normal School of Fes (ENS-Fes), Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco.
Laboratory of Materials, Waves, Energy and Environment, Team of Acoustic, Photonic and Materials, Faculty of Sciences, University Mohamed First Oujda, Oujda, Morocco.
Nathalie Gaumer
Laboratoire de Photonique d'Angers (LPhiA – EA 4464), Université d'Angers, 2 Bd Lavoisier, F-49045 Angers Cedex 01, France.
Mostapha Siniti
CUR''EnR&SIE'', Faculty of Sciences El Jadida – Chouaib Doukkali University, El Jadida 24000, Morocco.
Abdelowahed Hajjaji
Laboratory of Engineering Sciences for Energy (LabSIPE), National School of Applied Sciences, Chouaib Doukkali University, El Jadida 24000, Morocco.

Abstract

Europium-doped strontium phosphate glasses (PSrEux) were synthesized using the conventional melt-quenching technique with Eu_2O_3 concentrations of 0.0, 0.5, 1.0, and 1.5 mol. at. % to investigate the impact of Eu^{3+} incorporation on their structural, thermophysical, and photoluminescent properties. X-ray diffraction (XRD) confirmed that all compositions were fully amorphous. Fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy revealed the characteristic vibrational modes of the phosphate network, including symmetric and asymmetric P–O–P stretching, symmetric stretching of $(PO_3)^{2-}$, and P=O bending vibrations. Physical measurements indicated a slight increase in density (from 2.059 to 2.082 g/cm^3) alongside a decrease in molar volume (from 62.441 to 62.083

cm^3/mol), suggesting progressive structural densification with increasing Eu_2O_3 content. Differential thermal analysis (DTA) demonstrated comparable thermal stability across the series, confirming that these materials are suitable for high-temperature and optoelectronic applications. Photoluminescence (PL) spectra displayed the characteristic emission lines of Eu^{3+}, prominently featuring the intense red $^5D_0 \rightarrow {}^7F_2$ transition. Judd–Ofelt (J–O) analysis provided key intensity parameters (Ω_λ) and asymmetry ratios (R). The observed increases in Ω_2 and R-values indicated enhanced local structural asymmetry and stronger Eu^{3+}–O^{2-} covalent interactions. Radiative properties, including transition probabilities (A), stimulated emission cross-sections (σ_e), branching ratios (β), and radiative lifetimes, were derived using the J–O formalism. All samples exhibited single-exponential decay curves of the $^5D_0$ level, confirming homogeneous emission behavior. The CIE 1931 chromaticity coordinates ($x \approx 0.660$, $y \approx 0.340$) closely align with the standard red-emission target (0.67, 0.33). Overall, these findings demonstrate that Eu^{3+}-doped strontium phosphate glasses possess strong and stable red photoluminescence, combined with robust structural and thermal performance, making them promising candidates for next-generation photonic devices such as solid-state lasers, optical amplifiers, and advanced display technologies.

Keywords: Strontium phosphate glasses; Europium oxide; Melt-quenching technique; Structural characterization; FTIR spectroscopy; Photoluminescence properties; Thermophysical properties; Judd–Ofelt analysis; Radiative properties; CIE chromaticity; Red-emitting materials.

MULTIPHYSICS–JUDD–OFELT CORRELATIONS FOR ENHANCED RED LUMINESCENCE IN EU^{3+}-DOPED SILICOPHOSPHATE SOL–GEL GLASSES

El Mahdi Bouabdalli
Laboratory of Computer Science and Interdisciplinary Physics (LIPI), Higher Normal School of Fes (ENS-Fes), Sidi Mohamed Ben Abdellah University, Fez, Morocco.
Laboratory of Engineering Sciences for Energy (LabSIPE), National School of Applied Sciences, Chouaib Doukkali University, El Jadida 24000, Morocco.
Mohamed El Jouad
Laboratory of Engineering Sciences for Energy (LabSIPE), National School of Applied Sciences, Chouaib Doukkali University, El Jadida 24000, Morocco.
Samira Touhtouh
Laboratory of Engineering Sciences for Energy (LabSIPE), National School of Applied Sciences, Chouaib Doukkali University, El Jadida 24000, Morocco.
Fouad Belhora
Laboratory of Engineering Sciences for Energy (LabSIPE), National School of Applied Sciences, Chouaib Doukkali University, El Jadida 24000, Morocco.
Nathalie Gaumer
Laboratoire POMA – UMR CNRS 6136, Université d'Angers, 2 bd Lavoisier, 49045 Angers cedex 01, France.
El Kebir Hlil
Institut Néel, CNRS et Université Grenoble Alpes, BP 166, 38042, Grenoble, France.

Abstract
Europium-doped silicophosphate glasses have emerged as highly promising materials for next-generation photonic technologies, such as light-emitting diodes (LEDs), optoelectronic components, and laser systems. This study systematically investigates the effects of trivalent europium (Eu^{3+}) incorporation on the structural, physical, and optical properties of silicophosphate glasses synthesized through the sol-gel method. Both undoped and Eu^{3+}-doped compositions were thoroughly characterized using techniques including X-ray diffraction (XRD), Fourier-transform infrared (FTIR) spectroscopy, UV–visible absorption spectroscopy, steady-state photoluminescence (PL), and time-resolved luminescence decay measurements. XRD analysis confirmed that all prepared samples exhibited a fully amorphous structure. FTIR spectroscopy indicated that the incorporation of Eu^{3+} modifies the silicate phosphate network by disrupting Si–O–Si linkages, resulting in an increased optical band gap. Photoluminescence spectra displayed the characteristic $^5D_0 \rightarrow {}^7F_J$ (where J = 0–4) transitions of Eu^{3+} ions, with broadened emission bands typical of amorphous glass matrices. Judd–Ofelt (J-O) analysis facilitated the determination of optical intensity parameters (Ω_2 and Ω_4) and crucial radiative properties, including spontaneous emission probabilities (A), stimulated emission cross-sections (σ_e), calculated radiative lifetimes (τ_{cal}), and branching ratios (β_R). Notably, the high branching ratio of 52.71% for the hypersensitive $^5D_0 \rightarrow {}^7F_2$ transition underscores the strong potential of these

glasses for red-emitting laser applications. Moreover, the calculated CIE 1931 chromaticity coordinates (x = 0.63, y = 0.36) are situated close to the ideal red-emission point (0.67, 0.33), affirming the generation of bright and spectrally pure red light. Overall, these findings demonstrate that Eu^{3+}-doped silicophosphate sol-gel glasses exhibit excellent structural integrity alongside enhanced luminescent performance, rendering them highly suitable for red-emitting photonic devices and solid-state laser applications.

Keywords: Europium; Silicophosphate glasses; Sol–gel process; Optical properties; Structural properties; XRD; FTIR spectroscopy; Band gap energy; Photoluminescence; Luminescence decay; Judd–Ofelt analysis; Radiative properties; Photonic technologies.

MEDICINAL PLANT–DRUG INTERACTIONS IN CHRONIC DISEASE MANAGEMENT : PHARMACOLOGICAL EVIDENCE AND PUBLIC HEALTH IMPLICATIONS IN MOROCCO

Fatima El hilah
Nadia Belahbib
Jamila Dahmani
Lahcen Zidane
Laboratory of Botany Biotechnology and Plant Protection, Ibn Tofail University, Kenitra, Morocco.
Laboratory of Botany Biotechnology and Plant Protection, Ibn Tofail University, Kenitra, Morocco.

Abstract :
Background : The use of medicinal plants remains widespread in Morocco, including among individuals receiving conventional treatments for chronic diseases. Although medicinal plants are often perceived as natural and safe, their concomitant use with conventional medicines may result in clinically relevant herb–drug interactions. Such interactions may alter therapeutic efficacy or increase the risk of adverse effects.
Objective : This review aims to examine the available scientific evidence on interactions between medicinal plants and conventional medicines used in the management of chronic diseases, with particular emphasis on antidiabetic, antihypertensive, anticoagulant, and antiplatelet therapies, and to discuss their potential implications in the Moroccan context.
Methods : A narrative review of the scientific literature was conducted focusing on pharmacokinetic and pharmacodynamic interactions between medicinal plants and conventional medicines. Particular attention was given to mechanisms involving drug-metabolizing enzymes, including cytochrome P450 enzymes, drug transporters, and additive or antagonistic pharmacological effects. Evidence from clinical studies, pharmacological investigations, in vitro experiments, and relevant review articles was considered and discussed according to the strength of the available evidence.
Results and Discussion : Reported herb–drug interactions involve several mechanisms, including alterations in drug absorption, metabolism, and elimination, as well as additive pharmacological effects on blood glucose, blood pressure, coagulation, and platelet aggregation. However, the level of evidence varies considerably among medicinal plants. While some interactions are supported by clinical evidence, others remain based mainly on experimental findings or theoretical pharmacological mechanisms. This variability highlights the importance of distinguishing clinically documented interactions from potential interactions inferred from pharmacological properties. In Morocco, the widespread use of traditional herbal remedies and their possible concomitant use with conventional medicines emphasize the need to improve patient awareness and healthcare professionals' knowledge of potential herb–drug interactions.
Conclusion : A better understanding of medicinal plant–drug interactions is essential for promoting the safe use of traditional herbal remedies alongside conventional therapies.

Strengthening pharmacovigilance, improving communication between patients and healthcare professionals, and developing evidence-based databases on Moroccan medicinal plants may contribute to reducing potential risks associated with their concomitant use with conventional medicines.

Keywords : medicinal plants ; herb–drug interactions ; chronic diseases; pharmacology; ethnobotany; pharmacovigilance ; Morocco.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

RESIDENCE-TIME HETEROGENEITY AND EPIDEMIC MEMORY IN VARICELLA-ZOSTER VIRUS DYNAMICS: A CAPUTO FRACTIONAL SVEILATRM FRAMEWORK WITH STABILITY ANALYSIS AND OPTIMAL CONTROL

Shahid Mahmood
Israr Ali Khan
Kohat University of Science and Technology, Pakistan

Abstract:
Varicella-zoster virus (VZV) exhibits a complex biological pathway involving primary infection, long-term latency, and possible reactivation after years of dormancy. Classical epidemic models usually assume exponentially distributed residence times and therefore neglect population-level memory generated by heterogeneous transition durations. In this study, a nine-compartment Susceptible-Vaccinated-Exposed Infectious-Latent-reactivated-Treatment-Recovered-strongly immune (SVEILATRM) model is developed under the classical Caputo fractional derivative. The fractional formulation is derived from the continuous time random walk framework, where heavy-tailed sojourn-time distributions produce fractional memory effects. The model incorporates saturated primary transmission, immune-mediated reactivation, vaccination, treatment, and immune reinforcement. Mathematical analysis establishes positivity, boundedness, disease-free equilibrium, reproduction threshold, fractional stability, and Ulam-Hyers stability. The next-generation matrix approach gives a basic reproduction number R0=5.5726. Sensitivity analysis identifies vaccine efficacy as the most influential parameter. Furthermore, an optimal control strategy based on Pontryagin's Maximum Principle demonstrates that combined intervention measures can substantially reduce infectious burden.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

VITAMIN K2 AND HEART HEALTH: EXPLORING ITS POTENTIAL ROLE IN PREVENTING HEART ATTACK AND ARTERIAL BLOCKAGE

Tasawar Iqbal
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0002-5854-9069
Institute of Physiology and Pharmacology, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan
Sidra Altaf
ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-7717-1375
Department of Pharmacy, University of Agriculture, Faisalabad, Pakistan

Abstract
Vitamin K2 has gained increasing scientific interest for its potential role in maintaining cardiovascular health, particularly through the regulation of calcium metabolism and vascular calcification. Cardiovascular disease remains a major cause of morbidity and mortality worldwide, with arterial calcification and atherosclerotic plaque formation contributing to coronary artery narrowing and myocardial infarction. Vitamin K2 activates vitamin K-dependent proteins, particularly matrix Gla protein (MGP), which functions as an important endogenous inhibitor of abnormal calcium deposition within arterial walls. This review explores the potential mechanisms through which vitamin K2 may influence arterial health, including inhibition of vascular calcification, modulation of arterial stiffness, regulation of calcium distribution, and possible effects on atherosclerotic progression. Evidence from clinical studies indicates that vitamin K supplementation can improve biomarkers of vitamin K status, including dephosphorylated-uncarboxylated MGP, while findings regarding prevention of vascular calcification remain inconsistent. Recent randomized evidence has reported slower progression of coronary artery calcification with combined vitamin K2 and vitamin D3 supplementation in individuals with severe baseline coronary calcification, although these findings do not establish that vitamin K2 directly prevents heart attack or arterial blockage. Therefore, vitamin K2 represents a biologically plausible nutritional factor in cardiovascular protection, but its clinical role requires further long-term, adequately powered trials evaluating myocardial infarction, stroke, cardiovascular mortality, and coronary events. Current evidence supports continued investigation rather than considering vitamin K2 supplementation an established strategy for preventing cardiovascular events.

Keywords: Vitamin K2; Cardiovascular Health; Vascular Calcification; Arterial Blockage; Myocardial Infarction; Atherosclerosis.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

DIETARY FIBER IN GASTROINTESTINAL DISORDERS: A SYSTEMATIC REVIEW OF PHYSIOLOGICAL MECHANISMS, CLINICAL APPLICATIONS, AND EMERGING EVIDENCE

Prof. Bledar KRAJA, MD, PhD
Division of Physiology, Department of Biomedical and Experimental Sciences, Faculty of Medicine, University of Medicine Tirana, Albania
University Clinic of Gastro-Hepatology, University Hospital Center "Mother Teresa", Dibra Street 371, 1001, Tirana, Albania
ORCID ID: 0000-0001-7685-8394.

ABSTRACT

Introduction: Dietary fiber comprises a heterogeneous group of nondigestible carbohydrates and associated compounds with important effects on gastrointestinal physiology. Its biological and clinical effects vary according to physicochemical characteristics, including solubility, viscosity, fermentability, and interactions with the gut microbiota. This systematic review evaluated the physiological mechanisms and clinical evidence supporting dietary fiber use across major gastrointestinal disorders.

Methods: A systematic literature review was conducted to assess the effects of dietary fiber across major gastrointestinal disorders. Evidence from clinical studies, prospective epidemiological investigations, systematic reviews, meta-analyses, and contemporary clinical guidelines was considered. Outcomes of interest included gastrointestinal symptoms, bowel function, constipation, irritable bowel syndrome (IBS), colorectal cancer, diverticular disease, and gallstone disease. Evidence was synthesized according to fiber type, physicochemical characteristics, clinical application, and reported outcomes.

Results: Dietary fiber influences stool bulk and consistency, intestinal transit, colonic fermentation, bile acid metabolism, glucose homeostasis, and short-chain fatty acid production. Psyllium, a soluble, viscous, and relatively poorly fermented fiber, demonstrated greater clinical utility for constipation and IBS than insoluble wheat bran, although individual tolerance remains an important determinant of response. Fiber supplementation is supported as an option for chronic idiopathic constipation, although evidence certainty is lower than that for several pharmacological therapies. Epidemiological evidence generally supports an inverse association between higher fiber intake and colorectal cancer risk, despite heterogeneity among individual studies. Evidence for prevention of diverticular and gallstone disease remains less consistent.

Conclusion: Dietary fiber may provide clinically relevant benefits in selected gastrointestinal disorders, particularly constipation and IBS. Its effects depend on fiber type, dose, fermentability, dietary context, and individual tolerance. Current evidence supports fiber as an important component of a healthy dietary pattern rather than a universal therapeutic intervention.

Keywords: Dietary fiber, constipation, irritable bowel syndrome, colorectal cancer, gastrointestinal disorders.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

CAPITAL FLOW FROM BANQUE DE L'INDOCHINE TO FRENCH PLANTATION COMPANIES (1875-1945)

Dr. Duong To Quoc THAI
Lecturer in History, Faculty of Social Sciences Education, School of Education, Dong Thap University, Vietnam
ORCID: https://orcid.org/0009-0008-1929-3751

ABSTRACT

This paper analyzes the mechanisms and impacts of capital flows from the Banque de l'Indochine (BIC) into French plantation companies in Vietnam between 1875 and 1945. Drawing upon extensive archival records from the National Library of France (BNF/Gallica), historical financial reports, and colonial statistical data, this study examines how BIC operated as a central hub for long-term credit allocation, equity underwriting, and liquidity provision for colonial agro-industrial conglomerates, most notably rubber plantation companies in Cochinchina and the Central Highlands. The findings reveal that BIC transcended the function of a standard financial intermediary by acquiring controlling equity shares, thereby establishing a tightly integrated nexus between French banking capital and the plantation economy. Through preferential credit lines and control over agricultural export chains, BIC accelerated large-scale land concession, transforming traditional agrarian structures into a commercial monoculture serving the metropolitan market. Ultimately, this research demonstrates that BIC's capital injection was the crucial financial engine shaping the colonial plantation system and facilitating France's systematic resource extraction in Vietnam.

Keywords: *Banque de l'Indochine, Capital Flow, French Plantation Companies, Colonial Rubber, Vietnam (1875-1945).*

1. INTRODUCTION

In the history of French colonial exploitation in Indochina, plantation agriculture particularly rubber production served as one of the most vital economic pillars. The transformation of tens of thousands of hectares in Cochinchina and the Central Highlands into vast monocultural estates could not have occurred without the continuous financial backing of the *Banque de l'Indochine* (BIC). Established in 1875, BIC rapidly expanded beyond conventional commercial banking to function as the primary hub for long-term capital allocation and equity underwriting for French agro-industrial conglomerates (Gonjo, 1993; Meuleau, 1990). Investigating the capital flows from BIC to plantation companies not only clarifies the operational mechanics of French banking capital but also decodes how colonial finance reshaped Vietnam's agrarian economy between 1875 and 1945.

BIC's capital injections into the plantation sector were deployed through diverse financial instruments, ranging from short-term seasonal credit lines and export trade financing to bond underwriting and direct equity acquisition in major conglomerates such as the *Société Financière des Caoutchoucs* (SIPH) and the Michelin Rubber Company

(Murray, 1980). This financial intervention forged a tight structural nexus between metropolitan high finance and the colonial plantation economy. By monopolizing credit channels, BIC provided liquidity and mitigated investment risks for French capitalists while accelerating large-scale land concessions, converting colonial agricultural commodities into primary exports bound for metropolitan industries (Brocheux & Hémery, 2009).

While existing historiography addresses broad economic aspects of colonial Indochina, the specific mechanisms of capital transfers between BIC and major plantation enterprises require deeper empirical scrutiny using primary archival sources. Historical records housed at the National Library of France (BNF/Gallica) and BIC annual corporate reports yield critical empirical data regarding investment volumes, equity shares, and corporate strategies (Robequain, 1944). Utilizing these archival materials enables a comprehensive reconstruction of BIC's role as the indispensable financial backbone sustaining the hegemony of the colonial plantation economy.

This paper systematically analyzes the capital flows from the *Banque de l'Indochine* to French plantation companies in Vietnam from 1875 to 1945. Specifically, it addresses three core research questions:

- *First*, what financial instruments did BIC employ to channel capital into plantation enterprises?

- *Second*, how did these capital flows drive land concentration and restructure traditional agrarian production?

- *Third*, what was the broader significance of the bank-plantation alliance in consolidating French financial imperialism?

2. RESEARCH AND FINDINGS

2.1. Financial Mechanisms and Capital Injection Channels of BIC into Plantation Enterprises

The expansion of the colonial plantation economy in Vietnam from the late nineteenth century to the first half of the twentieth century was not a spontaneous process of capital accumulation, but rather the result of a systematic capital injection strategy coordinated by the *Banque de l'Indochine* (BIC). Established in 1875 as a colonial bank of issue and credit, BIC rapidly evolved into a multifunctional financial conglomerate, functioning as the primary capital pump for French agro-industrial enterprises (Gonjo, 1993). The mechanism of capital transmission from BIC to plantation companies was executed through three core financial channels: short-term commercial credit, long-term security underwriting, and direct controlling equity investments.

At the operational level, BIC supplied short-term working credit and seasonal crop advances (*avances sur récoltes*) that were indispensable for rubber, coffee, and tea plantations. Plantation production required lengthy capital gestation periods particularly rubber trees, which required five to seven years to reach tapping maturity creating severe liquidity pressures for planters. BIC bridged this barrier by extending working capital lines to purchase supplies, disburse wages, and finance export processing costs (Meuleau, 1990). Through its branch network in Saigon, Haiphong, and Phnom Penh, the bank monopolized foreign exchange settlements and documentary export credit bound for metropolitan

markets, ensuring continuous liquidity for plantation enterprises.

At the strategic long-term level, BIC served as the primary underwriter for corporate stocks and bonds issued by major plantation conglomerates on the *Bourse de Paris*. Leveraging its institutional creditworthiness and colonial monopoly status, BIC guaranteed public capital raises from French retail investors, channeling metropolitan savings into colonial agriculture (Giran, 1910). Furthermore, BIC acted not merely as a financial intermediary but also as a direct holding entity by acquiring controlling equity stakes in leading agricultural syndicates. The bank systematically reinvested retained earnings to secure significant equity positions in massive plantation alliances, including the *Société Financière des Caoutchoucs* (SIPH), the *Compagnie des Caoutchoucs du Padang*, and the Michelin Rubber Company (Murray, 1980).

The institutional fusion of banking capital and agricultural capital forged a powerful "Bank-Plantation Complex." Archival records housed at the National Library of France (BNF/Gallica) reveal extensive interlocking directorates between BIC's board of directors and the executive management of plantation firms. Executive board members of BIC frequently served simultaneously as chairmen or managing directors of major rubber syndicates (Lamarre, 1931). This cross-directorate network empowered BIC to directly supervise investment decisions, dictate export commodity pricing, and prioritize credit allocation toward affiliated corporate entities, establishing BIC as the supreme financial coordinator of the Indochinese plantation economy.

2.2. Impact of Capital Flows on Land Accumulation, Agrarian Transformation, and Labor Exploitation

The massive influx of capital from the *Banque de l'Indochine* into the agricultural sector induced profound socio-economic restructuring in Vietnam, most visibly manifested in large-scale land concentration. Backed by BIC's financial guarantee, French plantation corporations expropriated vast land tracts through the colonial land concession system (*concessions domaniales*). Bank credit enabled these enterprises to finance land clearance, penetrate virgin rainforests, and convert hundreds of thousands of hectares of fertile basaltic red soil in Cochinchina and the Central Highlands into enclosed rubber monocultures (Brocheux & Hémery, 2009). Land was thereby transformed from a communal means of production embedded in traditional village structures into a financial asset pledged as collateral for BIC bank loans, accelerating the financialization of agricultural land.

The intervention of banking capital accelerated the structural shift from a self-sufficient rice-based agrarian economy toward a monocultural export-oriented agrarian economy. BIC's concentration of financial resources into commercial export crops like rubber and coffee severely distorted regional economic structures. Traditional paddy cultivation areas were encroached upon or converted, undermining the food security of indigenous peasants (Gunn, 2014). Vietnamese agriculture became entirely subordinated to global commodity price fluctuations and credit decisions emanating from BIC's headquarters in Paris.

Heightened land concentration was inextricably linked to the expropriation and impoverishment of the Vietnamese peasantry. Tens of thousands of peasant families were

dispossessed of their ancestral lands due to colonial land confiscation policies designed to facilitate plantation expansion (Robequain, 1944). Stripped of their means of production, this dispossessed rural labor force had little choice but to enter the indentured labor system (*mộ phu*). BIC capital, by financing the operational costs of recruitment agencies (*agences de recrutement*), directly sustained this coercive labor pipeline, converting tens of thousands of northern and central peasants into plantation laborers in the south.

Within the plantation domain, BIC's financial capital demanded maximum returns on investment, enforcing a brutally oppressive labor regime. Plantation management instituted coercive labor controls, extended working hours, slashed food rations, and inflicted corporal punishment to maximize latex yields at minimal wage costs (Scott, 1976). BIC credit lines were not merely monetary transactions; they operated as instruments of coercive labor discipline, transforming rubber plantations into "earthly hells" where the blood and physical stamina of indigenous workers were systematically extracted to guarantee corporate dividend payouts to bank shareholders in Paris (Duong, 2021).

2.3. Capital Accumulation, Surplus Value Siphoning, and Socio-Economic Consequences

The capital transfer pipeline from the *Banque de l'Indochine* to plantation companies established a closed circuit of capital accumulation that systematically siphoned surplus value generated in the colony back to the metropole. By controlling both credit inputs and export outlets, BIC and its allied plantation syndicates captured extraordinary super-profits. During the rubber boom of the 1920s, profit rates for French plantation companies routinely ranged between 30% and 50% annually (Robequain, 1944). Rather than being reinvested to improve local living standards or construct civic infrastructure, the overwhelming majority of these profits were permanently repatriated to France via dividends, loan interest, and foreign exchange arbitrage (capital repatriation).

The absolute hegemony of BIC's capital established a monopolistic market structure that crushed small-scale Vietnamese-owned agricultural enterprises. Denied access to bank credit on preferential terms enjoyed by French firms, indigenous landowners were rapidly driven into bankruptcy or forced to liquidate their holdings to French corporate syndicates (Thoral, 2012). This created a starkly polarized colonial social structure: a small French financial capitalist elite wielding absolute economic power versus a vast majority of dispossessed Vietnamese laborers forced into an exploited plantation proletariat (proletarianization of indigenous peasantry).

Institutionally and architecturally, plantation capital flowing through the BIC system left a permanent mark on the colonial landscape. Revenue derived from rubber and agricultural exports financed the construction of extractive infrastructure, including seaports, railways, and monumental administrative architecture in Saigon and Hanoi (Wright, 1991). However, this represented a distorted, extroverted pattern of development designed exclusively to serve metropolitan interests, entirely detached from the organic developmental needs of the Vietnamese economy.

In conclusion, the financial nexus between the *Banque de l'Indochine* and plantation enterprises from 1875 to 1945 exemplifies the core mechanics of Financial Imperialism.

BIC operated not simply as a credit institution, but as the institutional nerve center of the colonial extractive apparatus. BIC's capital flows converted Vietnamese land and labor into instruments for metropolitan capital accumulation in Paris, bequeathing a legacy of severe economic depletion and deep social dislocation factors that ultimately fueled the revolutionary anti-colonial movements across Indochina (Norlund, 1991).

3. CONCLUSION

The examination of capital flows from the *Banque de l'Indochine* (BIC) to French plantation companies between 1875 and 1945 illustrates the paramount role of financial capital in shaping the colonial economy of Vietnam. Rather than operating merely as a conventional commercial credit institution, BIC functioned as the primary capital pump and the central institutional nexus connecting metropolitan financial markets in Paris with the network of rubber, coffee, and tea plantations in Indochina (Gonjo, 1993). Through short-term commercial credit, security underwriting, and direct controlling equity investments, BIC established a closed capital transmission system that maximized capital accumulation for French agro-industrial conglomerates.

However, the financial success of BIC and its affiliated plantation enterprises came at a devastating socio-economic cost borne by the indigenous population. BIC capital flows directly underwrote large-scale land expropriation, dispossessing Vietnamese peasants of their traditional means of production and reorienting subsistence agriculture into a monocultural export-driven economy (Brocheux & Hémery, 2009). Furthermore, this financial apparatus financed and sustained the brutal indentured labor system (*mộ phu*), transforming plantations into sites of intense labor exploitation designed to extract extraordinary super-profits for shareholders in France (Murray, 1980).

The enduring legacy of these capital transfers was the creation of a distorted colonial economic structure entirely dependent on external markets and defined by the systematic repatriation of surplus value to the metropole. The institutional synergy between BIC and plantation syndicates exemplifies the essence of Financial Imperialism, wherein financial resources were deployed not for sustainable local development, but as instruments of colonial dominance and extraction (Robequain, 1944). Decoding the operational mechanics of these capital flows not only offers critical insights into Vietnam's colonial financial history, but also provides a rigorous historical foundation for understanding the socio-economic catalysts that fueled the national liberation movements of the mid-twentieth century.

REFERENCES

Brocheux, P., & Hémery, D. (2009). *Indochina: An ambiguous colonization, 1858–1954*. University of California Press.

Duong, T. Q. T. (2021). *The Banque de l'Indochine in the process of French colonization in Vietnam (1875-1954)*. Doctoral dissertation in Vietnamese history. Ho Chi Minh City University of Education.

Giran, P. (1910). *De l'extension de la souveraineté française en Indochine: Du rôle de la Banque de l'Indochine* [On the extension of French sovereignty in Indochina: The role of

the Banque de l'Indochine]. Imprimerie Nationale.
Gonjo, Y. (1993). *Banque de l'Indochine et imperialisme francais en Extreme-Orient (1875-1939)* [Banque de l'Indochine and French imperialism in the Far East (1875-1939)]. Éditions de la Maison des sciences de l'homme.
Gunn, G. C. (2014). *Rice wars in colonial Vietnam: The Great Famine and the Viet Minh road to power*. Rowman & Littlefield.
Lamarre, M. (1931). *L'organisation monétaire et bancaire de l'Indochine* [Monetary and banking organization of Indochina]. Librairie Technique et Économique.
Meuleau, M. (1990). *Des pionniers en Extrême-Orient: La Banque de l'Indochine (1875-1975)* [Pioneers in the Far East: The Banque de l'Indochine (1875-1975)]. Éditions Fayard.
Murray, M. J. (1980). *The development of capitalism in colonial Indochina (1870–1940)*. University of California Press.
Norlund, I. (1991). The French empire in East Asia: Economic foundations of Indochina. In M. A. Prosper (Ed.), *Imperialism and colonial trade* (pp. 145–172). Routledge.
Robequain, C. (1944). *The economic development of French Indo-China*. Oxford University Press.
Scott, J. C. (1976). *The moral economy of the peasant: Rebellion and subsistence in Southeast Asia*. Yale University Press.
Thoral, M. (2012). Colonial credit and trade mechanisms in French Indochina. *Journal of Southeast Asian Economic History*, 40(2), 112–138.
Wright, G. (1991). *The politics of design in French colonial urbanism*. University of Chicago Press.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

FISCAL FEDERALISM AND SCHOOL EDUCATION: A COMPARATIVE STUDY OF EDUCATIONAL INFRASTRUCTURE AND SPENDING CAPACITIES IN NORTHERN AND SOUTHERN INDIA

Abhay Goel
Anisha Tigga
Ashwajit Gaikwad
Dorshita Phukan
Kashvi Bareja
Md. Shahanur Hosen
Pushkar Sharma
Shreya Sikdar
Vanshika Jindal

ABSTRACT Education is a part of the Concurrent List of the Indian Constitution; therefore, it is financed by center as well as the state governments. However, this budget is not fairly distributed among the states and there are also variations in the amount that states spend. Thus, it is necessary to analyze the allocations by center to different states and their spending of budget on the school education while paying importance to the issue of north and south divide which prevails within India's fiscal federalism. The study attempts to assess and generate findings by interconnecting the themes of fiscal federalism in India, structural and institutional capacities of states, educational infrastructure and development, and the impact of Covid 19. The paper presents quantitative, comparative and descriptive-analytical research design using secondary data (2018-2024). Mean, median, minimum, maximum, and standard deviation are used to measure central tendency and variability which are presented through graphical illustrations. It examines allocation and utilization of central government school education budgets across Indian states, state-wise analysis of the ten largest budget states, region wise analysis, comparative analysis of north versus south and the effects of COVID-19 pandemic. The findings reveal that there is a rise of 56.5% in national allocation for school education over six years. Nationally only 92.26% of allocated funds get spent where spendings of south are 94.71% and north are 91.19%. The northern states like Uttar Pradesh, Bihar have large allocations but a low spending percentage comparatively southern states like Tamil Nadu, Karnataka also have large allocations, but their spending percentages are higher. This indicates that only increase in the school education budget is not sufficient. To improve the educational infrastructure and institutional capacity, efficient utilization of funds should be there while trying to remove the constraint of regional disparity.

Keywords: Fiscal federalism, school education, infrastructure and institutional development, Covid-19 pandemic.

ANTIDIABETIC EFFECTS OF PROBIOTICS IN TYPE 2 DIABETES MELLITUS: FROM MECHANISTIC INSIGHTS TO CLINICAL EVIDENCE

Fatima Ezzahra KHAYATTE
Department of Biology, IMABI Laboratory Faculty of Sciences and Techniques of Béni Mellal Sultan Moulay Slimane University, Morocco

Introduction:
Type 2 diabetes mellitus (T2DM) is a major metabolic disorder characterized by chronic hyper glycemia, insulin resistance, and progressive pancreatic β-cell dysfunction. Increasing evidence implicates gut microbiota dysbiosis in T2DM pathophysiology through impaired intestinal bar rier integrity, altered microbial metabolites, chronic inflammation, and disrupted bile acid sig naling. This review aimed to synthesize current mechanistic, preclinical, and clinical evidence regarding the antidiabetic effects of probiotics. Materials and Methods: A structured literature review was conducted to identify in vitro, animal, and clinical studies investigating the effects of probiotics on glucose metabolism and T2DM-related metabolic out comes. Particular attention was given to glycemic control, insulin sensitivity, inflammatory markers, gut microbiota, microbial metabolites, intestinal barrier integrity, bile acid signaling, and incretin responses.
Results: The available evidence suggests that probiotics may improve glucose homeostasis through mul tiple complementary mechanisms, including modulation of gut microbiota composition, in creased production of short-chain fatty acids, enhancement of intestinal barrier integrity, regu lation of bile acid metabolism, stimulation of GLP-1 and PYY secretion, reduction of inflamma tion and oxidative stress, and improvement of insulin signaling. Clinical studies generally report variable but favorable effects on fasting blood glucose, HbA1c, insulin resistance, inflammatory markers, and gut microbiota composition.
Conclusion: Probiotics represent a promising complementary strategy for glycemic management in T2DM through their multi-target effects on the gut–metabolic axis. However, heterogeneity in probiotic strains, doses, formulations, treatment durations, study populations, and experimental designs limits definitive conclusions. Larger, well-designed randomized controlled trials using stan dardized protocols are needed to establish strain-specific efficacy and support evidence-based clinical recommendations. Keywords: Type 2 diabetes mellitus; Probiotics; Gut microbiota; Glycemic control; Insulin resistance; Short-chain fatty acids; GLP-1

BETWEEN LAW AND HIERARCHY: THE PRINCIPLE OF LEGALITY, HIERARCHICAL AUTHORITY AND THE LIMITS OF INTERNAL ADMINISTRATIVE GUIDELINES – A STUDY OF IMMIGRATION PROCEDURES IN PORTUGAL

Rui Isidoro
Vera Krischer
João Ralha
Polytechnic University of Beja

ABSTRACT

The principle of legality is a fundamental pillar of the rule of law, requiring Public Administration to act in accordance with the Constitution, the law, and other applicable normative acts. At the same time, Public Administration is structured through hierarchical relationships that ensure the coordination and standardisation of administrative activity. The interaction between these dimensions raises important questions concerning the limits of hierarchical authority and the legal force of internal guidelines addressed to administrative bodies and officials.

This issue is particularly relevant to immigration procedures in Portugal, where the AIMA plays a central role in decisions concerning the granting and renewal of residence permits. The complexity of these procedures and the need for consistent administrative action may justify internal guidelines aimed at harmonising the assessment of applications. However, questions arise when such guidelines impose requirements, criteria, or conditions that do not directly derive from the law.

This study analyses the relationship between the principle of legality and hierarchical authority, focusing on the legal nature and limits of internal administrative guidelines. It distinguishes between legitimate instruments for organising and standardising administrative activity and guidelines which, through their application, may assume a materially normative function, affecting individuals' legal positions beyond the requirements established by the legislature.

The research adopts a legal-dogmatic approach based on the Portuguese legal system, particularly the constitutional and administrative principles governing Public Administration, complemented, where relevant, by European Union law and case law. Immigration procedures are used as a case study to examine the interaction between legislation, administrative hierarchy, internal guidelines, and decisions concerning residence permits.

The study addresses a central question: where is the boundary between the legitimate power to organise and standardise administrative activity and the prohibition against using internal guidelines to create, modify, or restrict requirements not established by the legislature?

Keywords: Principle of Legality; Public Administration; Hierarchical Authority;

Hierarchical Superiority and Subordination; Administrative Guidelines; Immigration; Residence Permit; Agency for Integration, Migration and Asylum (AIMA); Administrative Law.

SOİL-DERİVED MİCROORGANİSMS FOR GREEN SYNTHESİS OF SİLVER NANOPARTİCLES

Ms. Ishanityasri BALASUBRAMANIAM
Nilai University, Faculty of Intelligent Healthcare Technologies, Department of Biotechnology, Negeri Sembilan, Malaysia,
Assoc Prof Dr. Yang Chia-Yan EVYAN
Nilai University, Department of Research and Innovation, Negeri Sembilan, Malaysia,
ORCİD: ID/0000-0003-0619-1103

Abstract
Silver nanoparticles (AgNPs) have attracted considerable attention because of their strong antimicrobial properties and wide range of applications in biomedical, environmental, and food-related fields. The conventional physical and chemical synthesis methods often involve countless limitations that caused high energy consumption, costly processes, and potentially toxic reducing or stabilizing agents. These can be definitely improved by proven green synthesis method. One of the green synthesis methods that are using microorganisms provides a more sustainable alternative. The microorganisms not only a as microbial enzymes and biomolecules that can reduce silver ions, they simultaneously contribute to nanoparticle for stabilization purposes. Soil-derived bacteria are particularly promising because soil environments contain diverse microorganisms, including metal-tolerant species with the ability to transform and reduce metal ions among microbial sources. This review focuses on the green synthesis of AgNPs using microorganisms isolated from soil, with particular emphasis on bacterial-mediated biosynthesis. The mechanisms involved in silver ion reduction and factors influencing AgNP formation, including pH, temperature, reaction time, silver ion concentration, bacterial growth conditions, and soil characteristics are discussed. The review also highlights the use of spectroscopic and microscopic techniques for nanoparticle characterization and discusses the antimicrobial potential and sustainable applications of bacteriogenic AgNPs. The diversity of soil microorganisms also provides an opportunity to identify bacterial strains with distinct biosynthetic capabilities and potentially improve the properties of AgNP production. The diversity of soil microorganisms also provides an opportunity to identify bacterial strains with distinct biosynthetic capabilities and potentially improve the efficiency and properties of AgNP production. Despite considerable progress, variations in synthesis protocols and limited understanding of the influence of soil origin and bacterial diversity remain major challenges. Moving towards sustainability, a greater standardization and systematic optimization are required to establish reproducible relationships between soil-derived microorganisms, synthesis conditions, nanoparticle characteristics, and antimicrobial performance.

Keywords: biosynthesis, conventional, sustainable, bacteriogenic, optimization

FROM SEAFOOD BY-PRODUCTS TO HEALTH-ORIENTED BIORESOURCES: LINKING CIRCULAR ECONOMY, SUSTAINABILITY AND HEALTH IN SOUSS-MASSA, MOROCCO

Ez-zalmaty Youness
[a]Laboratory of Biotechnologies, Specialized Center of Valorization and Technology of Sea Products, National Institute of Fisheries Research (INRH), P.K. 07, Route d'Essaouira, Anza 80000, Agadir, Morocco.
Biological Engineering Laboratory, Department of Biology, Faculty of Sciences and Techniques, Sultan Moulay Slimane University, P.O. Box: 523, Beni Mellal, Morocco.
Bellali Fatima
Biological Engineering Laboratory, Department of Biology, Faculty of Sciences and Techniques, Sultan Moulay Slimane University, P.O. Box: 523, Beni Mellal, Morocco.
Saadani Maainia
Laboratory of Biotechnologies, Specialized Center of Valorization and Technology of Sea Products, National Institute of Fisheries Research (INRH), P.K. 07, Route d'Essaouira, Anza 80000, Agadir, Morocco.
Biological Engineering Laboratory, Department of Biology, Faculty of Sciences and Techniques, Sultan Moulay Slimane University, P.O. Box: 523, Beni Mellal, Morocco.
Kharroubi Meriem
Laboratory of Biotechnologies, Specialized Center of Valorization and Technology of Sea Products, National Institute of Fisheries Research (INRH), P.K. 07, Route d'Essaouira, Anza 80000, Agadir, Morocco.

Abstract

Seafood processing by-products are often viewed primarily as a waste-management challenge, yet they may also represent an important interface between resource sustainability, circular bioeconomy and human health. This study assessed the generation and current management of seafood by-products in the freezing industry of the Souss-Massa region of Morocco and explored their potential positioning within future health-oriented biotechnological pathways.

A semi-structured survey was conducted among 21 of the 39 regional freezing companies. Species- and processing-specific conversion factors, combined with zone-based post-stratification, were used to estimate regional material flows. Approximately 70,230 t of seafood raw material were processed during the 2024–2025 reference period, generating an estimated 22,504 t of seafood by-products, equivalent to nearly 32% of processed biomass. Viscera, heads, and bones and tails represented the major fractions, while several fish, cephalopod and shellfish streams contributed substantially to the regional by-product pool. Current management relied mainly on conventional external routes, including fishmeal production, animal feed, disposal and direct sales, while no industrial-scale recovery of collagen, gelatin, bioactive peptides, marine oils or other high-value compounds was reported among surveyed companies.

Beyond waste reduction, these biological streams may therefore be considered as potential

future feedstocks for health-oriented biotechnology. Literature on marine biomaterials highlights possible applications of collagen, gelatin, chitosan, bioactive peptides and marine lipids in wound care, biomaterials, nutraceuticals and other health-related applications. However, the present study did not assess biochemical composition, safety, extraction yield or clinical functionality.

This regional inventory therefore provides a first step toward connecting seafood sustainability with health innovation. Future progress will require biochemical characterization, safety assessment, process development, techno-economic evaluation and life-cycle assessment to determine which by-product streams can realistically transition from underused biomass to safe and valuable health-related bioresources.

Keywords: seafood by-products; planetary health; circular bioeconomy; biotechnology; biomaterials; sustainability; Morocco.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

EARLY-LIFE STRESS ALTERS NEURODEVELOPMENT, ANXIETY-LIKE BEHAVIOR, AND ETHANOL CONSUMPTION IN ADOLESCENT MICE

ELHACHMI ER-RACHDAOUI
Laila BERROUG
Mounir El CHARKAOUI
Zakaria NADIR
Oumaima ESSADI
Fatiha CHIGR
Laboratoire de Génie Biologique, Faculté des Sciences et Techniques de Béni Mellal (FSTBM) Sultan Moulay Slimane University

Abstract

Background: Early-life stress (ELS) is a major environmental risk factor for altered neurodevelopment and for later emotional and substance-use disorders, yet the links between maternal care, development, adolescent behavior, and alcohol intake remain unclear.

Objective: We examined the effects of maternal separation with limited bedding (MSLB), a combined ELS model, on maternal behavior, neurodevelopment, anxiety-like behavior, and binge-like ethanol consumption in Swiss albino mice.

Methods: Litters were assigned to control (n = 9) or MSLB (n = 9). From postnatal day (PND) 2 to 15, MSLB dams were separated from their pups for 3 h daily and placed on limited bedding. Maternal behavior was scored by direct observation, and eye opening (PND 11–17) served as a neurodevelopmental milestone. In adolescence (PND 30–35), male offspring were tested in the open field, elevated plus maze, and Y-maze. Female offspring (n = 9 per group) were assessed for binge-like drinking using the Drinking in the Dark paradigm (20% ethanol, PND 46–60).

Results: After reunion with their pups, MSLB dams showed reduced active nursing and licking/grooming. MSLB pups opened their eyes about two days later than controls (15.23 vs. 13.05 days; $p < 0.0001$). Adolescent MSLB males were hypolocomotor and more anxious: they moved less and spent less time in the open-field center (4.77% vs. 9.26%; $p = 0.0118$) and the elevated plus maze open arms (17.86% vs. 32.56%; $p = 0.0030$), whereas Y-maze spontaneous alternation was unchanged. MSLB females consumed 87.4% more ethanol than control females (22.04 vs. 11.76 g/kg; $p < 0.0001$).

Conclusion: MSLB disrupted maternal care, delayed neurodevelopment, and produced adolescent anxiety-like behavior with preserved working memory, and it increased binge-like ethanol intake in females. These findings link early adversity to later vulnerability to alcohol and support MSLB as a model for investigating sex-specific mechanisms of substance-use risk

Keywords: Early-life stress, Maternal separation with limited bedding, Anxiety-like behavior, Ethanol consumption, Neurodevelopment, Adolescent mice.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

EPIDEMICS, BIOTECHNOLOGY, AND HUMAN VULNERABILITY IN PAOLO BACIGALUPI'S *THE WINDUP GIRL*

Gayathri P
Junior Research Fellow, Department of English, Academy of Maritime Education and Training Deemed to be University, Kanathur, Chennai
Dr.C.Vairavan
Associate Professor, Department of English, Academy of Maritime Education and Training Deemed to be University, Kanathur, Chennai

Abstract
The Windup Girl (2009) by Paolo Bacigalupi offers an image of the world where environmental degradation, genetic manipulation, and threats are of biological nature. The novel has received numerous scholarly attention from the perspective of environmental crisis, biotechnology, and corporation's power, however, it is possible that the perspective of epidemics and human vulnerability would give a good ground for analysis of the interconnection between technological intervention and public health. In this paper the autho''s depiction of biological danger, including epidemics, diseases, and artificial manipulation of genes will be analyzed as the manifestation of the fragile nature of human body in the world of ecology and technology. The biological knowledge that can be used as the means of power of corporations and other strong institutions and the risks connected to it will be discussed. The potential of the use of biological knowledge as the means of power of corporations and more powerful institutions and threat to the life and health of whole population will be focused on. The analysis will be conducted based on the qualitative description of the novel *The Windup Girl*. It argues that Bacigalupi's dystopian story raises doubts about the idea of associating the advancements in science and technology with greater human welfare. On the contrary, this book demonstrates how the exploitation and commodification of living organisms can lead to greater inequalities in health and pose threats to at-risk groups. This paper attempts to analyze the theme of epidemic disease from the point of view of literature and environmental humanities in order to highlight the importance of dystopian fiction in our time.

Keywords: Epidemics; Biotechnology; Public Health; Human Vulnerability; Infectious Disease; Environmental Humanities.

Introduction

In view of the increasing interdependency of biotechnology, environmental pollution and global health crises, there have been renewed concerns about the linkages between technological progress and human vulnerabilities. Advances in science and technology are often linked with better access to medical care, better agriculture output, disease prevention and management of ecological resources, all of which contribute to the overall improvement of human life. However, these technologies can also generate novel biologies of uncertainty when scientific knowledge is made subject to commercial interests, political power, and the commercialization of life itself. Biological materials, genemodified

materials and products, the genetic engineering of food, and technologically modified food systems therefore generate questions regarding the control of biological resources, who will profit from technological innovation, and who will have to assume the risk when biological systems become unstable. Such tensions can be explored in contemporary dystopian fiction, which can theorize the social effects of technologies beyond their possible promises of efficiency and progress.

In the context of these developments, Paolo Bacigalupi's The Windup Girl (2009) is especially notable for its attempts to shape a future where ecological collapse, genetically-engineered organisms, food scarcity, pandemic disease, and greater privatization of biological resources are a regular part of life. The novel is set in a future Thailand, ravaged by climate change and successive biological calamities, where traditional notions of nature, technology, and human life are becoming increasingly fragile. As economies shift from fossil fuels to a 'calorie economy', food and biological resources become important economic and political assets. High-tech, calorie-generating corporations dominate GM crops and knowledge, and governments try to ensure their citizens' safety against biological dangers threatening from outside the state. In this world, disease and created organisms are not just part of the dystopian landscape, but are tools with which the novel explores the fragility of human populations and the effects of life's control by technology.

The Windup Girl is more than a typical depiction of an epidemic catastrophe. Bacigalupi portrays biological dangers as the byproducts of a more and more manipulated eco-system where the distinction between nature and technology is blurred. Biological processes can be designed, commercialized, weaponized, and spread across geographical boundaries, as seen in blister rust, engineered plagues, resistant organisms, and genetically modified food systems. The novel thus undermines the premise that technology can give man control of nature. Technology often has unexpected side effects, however, rather than expected ones. Biological systems are unpredictable just because they are perceived as commodities to be handled by humans. In this respect the term "disease" does not just mean a medical issue but also a literary symbol of the unforeseen side effects of technology and economy.

Corporate forms of power are also a part of the novel's depiction of biotechnology. The calorie companies have developed biological know-how to manipulate organisms, to engineer seeds, to control access to food resources. Such control turns biology into a means of economic productivity and makes living a product of the market. Seeds, organisms, genetic information and the ability to reproduce are then appropriated as political and social issues of sovereignty. Bacigalupi's imagined world illustrates that biology doesn't happen in a politically neutral arena. Rather, scientific knowledge is wrapped up in systems of ownership and competition, which allow for powerful institutional actors to shape which life is protected, exploited, reproduced or eliminated. The commercialization of biological knowledge therefore produces an unequal distribution of benefits of the technology, as well as biological risks.

This disparity is especially manifested in the novel in the form of fragile bodies. In The Windup Girl, humans live in a world where their fate is tied to their capacity to navigate technological, ecological, and economic ecosystems over which they may have no direct

influence. The extreme case of the reduction of biological existence to a manufactured product can be seen in the “windup” Emiko. Emiko is made for humans, yet she is no longer needed once she has served her purpose, and thus poses some ethical dilemmas created by the use of technological production on living beings. Her body is a space where issues of appropriation, exploitation, sexuality, reproduction, and personhood intersect. Her vulnerability is also similar to the general vulnerability of populations that are at risk from disease, food insecurity and ecological instability. Bacigalupi argues that the impact of biotechnology is not uniform: those with less economic and political power are more likely to suffer the negative effects of a system designed and operated by others.

This is further complicated by the representation of borders and biological circulation in the novel as a function of epidemic disease and social inequality. Pathogens do not observe the political borders which states try to define for human societies. However, the governments react to the biological insecurity with territorial regulation, surveillance, quarantine and movement limitations. The conflict between biological mobility and political containment brings to light the inadequacy of traditional public health strategies in a technologically networked world. The Windup Girl is about the spread of disease, organisms, genetic material, and commodities, which disrupts the boundaries between local and global crises. The effects of a biological threat can ripple out in various places through the environment in other contexts, illustrating the interconnections of ecological and human systems. Epidemic disease is then a vehicle for Bacigalupi to show how political institutions are fragile and are using themselves to try to defend populations while also being caught up in systems of biological competition and control.

The Windup Girl has had a series of critical readings that have focused on themes of climate change, ecological destruction, biotechnology, energy scarcity, capitalism, and corporate domination. These readings have helped to make the novel an "environmental and climate dystopian novel". A more targeted study of the epidemics and the vulnerability of human beings, however, can shed more light on the interconnection between these concerns. In the novel, the concept of disease is not just a side effect of the collapse of the environment, but rather a product of environmental disruption, ecological experimentation with technology, corporate interests, and unequal access to biological resources. By exploring epidemics through this lens, readers can interpret the novel not only as a cautionary tale about what may happen in the future but also as a protest against the systems that make people vulnerable to a biological threat.

This paper thus explores The Windup Girl in the context of the interwoven strands of epidemic disease, biotechnology, corporate control and human vulnerability. In an interdisciplinary approach, which draws on the concept of environmental humanities, the study examines the role of qualitative close reading in the study of Bacigalupi's portrayal of the biological dangers resulting from technological intervention and the commercialization of life. There is a focus on the novel's portrayal of the engineered diseases, genetically modified organisms, corporate control of biological resources and the weak bodies—human and otherwise. Rather, The Windup Girl challenges the common notion that science and technology will always bring more good to humanity, according to

the analysis. Rather, Bacigalupi clarifies how the advancement of biological knowledge that is wielded as an economic and political weapon can exacerbate predispositions to inequality, as well as create new vulnerabilities. Eventually the novel depicts epidemic disease as less a biological apocalypse and more as a symptom of the ways in which societies understand, govern, and commodify life.

Review of Literature

The Windup Girl (2009) has garnered critical acclaim for the author Paolo Bacigalupi for his treatment of biotechnology, environmental degradation, corporate capitalism, biopolitics, posthumanism, labour, embodiment, and the commodification of life. In an ecologically fragile future with genetically engineered organisms, food shortages, and conflicting political and corporate powers, the novel has been read broadly as a critique of the repercussions of technological intervention in the era of neoliberal capitalism. The importance of the novel as a 'dystopian' view of the environment and biotechnology has been documented, but the interconnections between epidemic disease and technological intervention, corporate control and human vulnerability have been relatively neglected. The present review therefore is intended to represent some of the most important critical strategies while suggesting the need for an examination that is more focused on the novel's epidemiological imagination.

There is one major strand within this scholarship that discusses The Windup Girl in relation to the overlapping theories of biocolonialism, neoliberalism and environmental exploitation. Building on the concept of "epidemiological colonialism," Sarkar and Rangarajan (2022) explore how American megacorporations use their scientific and technological power to challenge Thai agricultural sovereignty. They specifically relate their analysis to the question of disease and corporate power, and bring to light how rogue diseases, genetically engineered seeds, and biological manipulation serve as tools to control the colonized. Their study highlights the political implications of the monopolisation of scientific knowledge, with the notion of "scientocracy" pointing out that biological technologies can be used as tools of control and domination, not of collective well-being. The epidemiology aspect of Bacigalupi's dystopia is important to the story because of the correlation between biological catastrophe and economic power and unequal access to technology.

The Windup Girl is another movie about the environmental impacts of neoliberal globalization, as explored by Bakay (2022). The study focuses on the tension between the transnational corporations and local political institutions, especially when it comes to the exploitation of the biological and ecological resources. In this context, Biotechnology is irreplaceably part of market-driven exploitation: the power to manipulate living systems gives corporations the economic power, and at the same time, it can destabilise ecological environments. The novel is also a "neoliberal dystopia", as described by Castillón and Romero (2022), where the traditional political landscape has been blurred by globalisation, privatisation and the influence of corporations. Their analysis shows that environmental and biological crises are deeply linked with broader frameworks of economic governance. Both of these studies suggest that the environmental degradation that is described in the

novel is not just an outcome of technology, but it is also going to be much deeper rooted in systems of ownership, commercialisation and political inequality.

Another major theme of the novel is the commercialization of biological life, and the Marxist and political-economic reading of the novel has focused on this theme. Straetz (2017) is interested in The Windup Girl as it relates to labour, biotechnology and the 'commodification of the body'. The study conceptualizes the character of Emiko as an allegorical figure for labour exploitation in international capitalism because of her genetically modified body which is treated as a commodity with exchange value. In Emiko, the biological modification is made to the economic valuation of the human and post-human bodies. The importance of this argument does not end there as it illustrates the way in which the life itself is objectified and made commercially available through the power of biotechnology. The boundary between technological innovation and exploitation becomes fuzzy when bodies, organisms and genetic materials take on commercial value.

Another significant research area is the politics of representation in biotechnology, race, gender and culture. Kim (2019) analyzes the novel from the intertwined perspectives of Orientalism, gender, food metamorphosis and global capitalism. The study is a sign of Bacigalupi's criticism of corporate biotechnology and GM food systems, and at the same time points to the novel's stereotypical depictions of Asian women and Asian societies. The novel's environmental criticism is also examined by DeTora (2022) who also considers the novel's embodied representation, noting the novel's troubling racial and gendered representations that come from earlier science fiction traditions. These approaches are important because they complicate readings that position Bacigalupi’s dystopia as an uncomplicated critique of technological capitalism. They show that issues of race, gender, cultural difference and power shape the understanding of biological and ecological vulnerability.

Post-humanist scholarship has also broadened the critical comprehension of the novel by questioning the human/non-human binary. In her theoretical approach, Mansoor (2018) draws on Donna Haraway's and Bruno Latour's theories, and considers The Windup Girl as a “disanthropocentric” possibility. The study focuses on the agency of the non-human world and establishes an argument for a form of ‘ecological resistance’ to biocolonial control. This view is especially important as it moves beyond a solely anthropocentric view of ecological crisis. Rather, biological and environmental systems become active players in the conflicts created by technological and economic intervention.

A similar posthumanist argument is made by Karavasilis (2025) in his analysis of hypercapitalist production and technologically modified bodies' rights. The “New People”, especially Emiko, are seen as manifestations of a posthuman ecological future that denies the “human exception” and offers a challenge to it. This is not only a technological product, but also one that has the ability to challenge the conventional boundaries between human beings, machines, animals and commodities. Similarly, Kumar and Umamageswari (2025) discuss the connection between biotechnology, technologically modified beings, and their rights. Their analysis shows that Bacigalupi is still not sure about the commercialization of GM life, and at the same time challenges anthropocentric notions of human superiority. In

Dammy and Yaas (2026), the concepts of hybridity, embodiment and ethical responsibility further this argument, focusing on the way that Emiko challenges traditional notions of human beings and technologically produced humans.

Emiko's representation has also been the object of psychoanalytical, technological and identity-based interpretation. In the discussion about desire and abjection, Krishnamurthy and Kumar (2023) explore the body of Emiko as a creation of social disgust as well as sexual desire. Her body then becomes a political space where power, sex, marginalisation and identity converge. However, Jiang (2024) does emphasize subjectivity and emotional growth and the use of artificial intelligence through the character of Emiko. In the study, it is contended that the experience of pain, the degradation, and the experience of emotions result in a subjectivity that is greater than the one originally programmed into her. This is an example of scholarship that reveals how the novel treats the moral implications of technological modification, control, and exploitation of the body of Emiko.

The connection between biotechnology, embodiment and technologically mediated identity has been a topic of recent scholarship. In post-apocalyptic The Windup Girl, Jin and Cheng (2025) research how cyborg identity is rebuilt through the body being a political and ecological field that is always formed and remade by the technology, power, and survival ethics. The analysis here rejects the idea of biological determinism and points to the material, ecological, and technological relations wherefrom identity is formed. In a similar vein, Acharya (2026) explores “posthuman hybridity” and “new agency” in connection to Emiko, based on Donna Haraway’s and N. Katherine Hayles' works. The study challenges human exceptionalism and calls into question ethical accountability for technologically mediated forms of life. These studies show that the posthumanist perspective remains vital to understanding Bacigalupi's depiction of bodies remediated by biotechnology.

In contrast, Booker (2023) offers a slightly different view point by highlighting “utopian energies” in the dystopian setting of the novel. Instead of the genetic engineering technology being seen as fundamentally destructive, Booker proposes that biotechnology can also hold some promise of repairing the environment and transcending the constraints imposed by previous social and colonial formations. This viewpoint is important as it adds a layer of uncertainty to the interpretations of technological interventions. The potential emancipatory and destructive aspects of Biotechnology in the Windup Girl are not intrinsic to the technology, but are determined by the social, political and economic contexts in which scientific knowledge is created and used.

But the potential for revolution in the novel is still debated. Estok (2023) explores the intersections of environmental crisis, race, gender, and technology, specifically Orientalism and narrative sexism. Estok challenges the novel, pointing to the novel's critique of ecological devastation and technological capitalism, but also notes that the novel reifies racial and gender stereotypes. The sexualisation and marginalisation of Asian female bodies thus complicates the seemingly anti-oppressive critique of oppressive systems within the novel. This critical tension becomes significant for this present study, as it is an indicator for the fact that representations of vulnerability are never apolitical. This vulnerable body is also located in cultural contexts of race, gender, class and power.

The existing scholarship makes it clear that a number of important dimensions of The Windup Girl can be seen when examined together. First, research on biocolonialism and neoliberalism shows that biological resources are tied to the economic and political power.Research on biocolonialism and neoliberalism shows that biological resources are closely linked to economic and political power, as explained above. Second, Marxist and political-economic approaches illuminate the manner by which biotechnology becomes a way through which bodies, organisms and labour and even life itself becomes a commodity. Thirdly, posthumanist scholarship casts a critical light on anthropocentric notions, emphasising technologically altered and non-human modes of agency. Fourth, in the study of Orientalism, gender and embodiment, technological and ecological crises are shown to intersect with cultural systems of representation. Lastly, Emiko's research indicates the body as an important locus for the negotiation of issues of identity, technological control, exploitation, and ethical responsibility.

Although these are all important approaches, there is one that hasn't yet been addressed. The issue of disease and engineered organism are often seen as part of the dystopian setting of existing studies, while fewer studies focus on epidemic disease itself. The relationship between biological catastrophe and human vulnerability needs to be explored further, including the systems involved in the creation and dissemination of biological risk. The present scholarship focuses on biotechnology as a product of corporate capitalism, post-human identity, ecological devastation, or biopolitical control, while less research has been dedicated to understanding the fragility of human bodies and inequalities in the access to biological security and survival when facing epidemic threats.

This paper seeks to fill this void by looking at The Windup Girl in relation to the interwoven concepts of epidemics, biotechnology, corporate power and human vulnerability. This research does not regard epidemics as only a side issue of dystopian space but as literary forms of the effects of technological intervention and the commercialization of life. It suggests that Bacigalupi's depiction of a biological crisis reveals the shortcomings of technological advances in the era of corporate and politic control of knowledge. Finally, the novel has the potential to raise ecological risks, widen social inequalities, and leave vulnerable populations new-biological risks.In the end, technological control over biological systems does not always lead to greater security, but may amplify ecological fragility, increase social disparities, and raise new biological risks for vulnerable groups. This study aims to further develop current critical interpretations of The Windup Girl by introducing epidemiological vulnerability into the conversation about the other topics that have appeared in recent scholarship: biotechnology, environmental crisis, and corporate power; and to illustrate the contemporary significance of dystopian fiction to debates on public health, technological governance, and the ethics of life manipulation.

Epidemic Disease and Ecological Instability

The Windup Girl by Paolo Bacigalupi does not just use the concept of epidemic disease as a single point of infection, rather, it's a result of an unstable ecology and technology. Climate change, food scarcity, biological modification and the failure of the traditional agricultural system already influence the world of the novel. In this context, diseases like

scabis mold, genehack weevil, cibiscosis, and blister rust are constant dangers to human life and food supplies. Disease is thus a feature of the habitat of the characters. Bacigalupi does not view epidemics as sudden and unexpected occurrences, but as ongoing forces that influence daily existence, farming, politics, and economics.

The first few chapters define this situation by the frequent reappearance of biological illnesses in the food system in Bangkok. In fact, as Anderson Lake sees a genetically modified fruit known as ngaw, he recalls the diseases that have changed the face of farming. The fruit looks healthy, but it is linked to a world that is no longer biologically stable, Anderson says. The narrator remembers the damage done by a number of biological hazards: “before cibiscosis and Nippon The weevil, blister rust and scabis mold destroyed the landscape, genehack. (Bacigalupi 8). The meaning of this verse is in the word “razed.” The language of disease is one of destruction: epidemics have not only impacted individual organisms, they have reshaped ecological landscapes. The loss of food security goes hand in hand with the loss of biological diversity, which is linked to the loss of crops. The diseases span the human/non-human continuum: they kill agricultural organisms, threaten human food supplies and finally pose a risk to human populations. The novel thus creates an ecological chain, making the vulnerability of crops the same as the vulnerability of human communities.

Disease effects also reveal the technology control constraints in agriculture. Anderson has more than a scientific motivation for the ngaw. It's obvious to him that this biological variation with disease resistance has economic value, and it can be very valuable in the calorie economy if it becomes resistant. The fruit is thus located in a world where organisms must continually produce organisms that are able to withstand the biological threat to life. The novel interprets this as a cycle: disease eradicates other kinds of life; biotechnology creates resistant life; new biological variations lead to the creation of new uncertainty. The biological environment is dynamic and so is the problem, so it cannot be solved permanently by scientific intervention.

This instability is most evident in Anderson's discussion with Yates. Anderson says the corporations are constantly battling against changing diseases because: The blister rust is changing each season! There is hacking for our designs called TotalNutrient Wheat and SoyPRO that's being done by recreational generippers.” (Bacigalupi 11). The statement is significant because it is not an idea that biotechnology could permanently solve, but rather a continuous process that is going on all the time. The corporations react to biological instability by additional genetic manipulation, but operate in a changing environment. The novel thus poses a question about the idea of technological progress as securing security. The more strongly the biological system is controlled, the more complex the technological, disease and survival dynamics become.

When the novel opens up to the effects of previous epidemics, the link between disease and social vulnerability is reinforced. The history of biological catastrophe is directly connected with the existence of the Thai Kingdom during Anderson's talk with Akkarat. Akkarat says that Thailand was able to escape the global biological crises partly because of seedbank, but with a massive human price tag. “At the time of blister rust and genehack weevil, It was

because of the seedbank that we were able to avoid the most severe of the plagues, Notwithstanding, many of our people perished. (Bacigalupi 151). The link between food sovereignty and political survival is made evident in this passage, which also shows that epidemic disease in the novel cannot be divorced from the question of food sovereignty. The seedbank transforms into more than just a resource for agriculture; it's a way for Thailand to stand up to the big calorie companies. The emphasis on “our people died in droves” is important because it brings to the mind of the reader that biological crises are experienced in the flesh. Seeds, genetic material and agricultural productivity are the mere words behind communities that are at risk of death, displacement, hunger and insecurity.

The seedbank thus becomes a biological security. It is crucial to have access to genetic diversity and not fully depend on commercially controlled crops for Thailand's survival. This raises a basic conundrum over two streams in biotechnology. On one side there are the calorie companies who regard genetic material as property and as a resource of the economy. The other is the Thai seedbank, the biological diversity and national independence. Bacigalupi thus relates the vulnerability of epidemics to the question of politics, of who has control over the biological resources that are needed to survive. The threat is even more dire in the novel's later scene of a new form of blister rust. The disease is no longer restricted to agricultural organisms. As Ratana looks at two patients, she notices the disease seems to be taking on traits that defy traditional notions of disease transmission. The samples are similar to known cases of blister rust found in corporations, but the disease is acting in an unusual fashion, she says. Most importantly she looks for evidence of intentional bio-modification: “It has the markings of an engineered virus. DNA shifts don’t look like ones which might re-invade the wild. There is no reason for blister rust to cross the animal kingdom barrier. (Bacigalupi 217). In these pages, Bacigalupi shifts the locus of disease from ecology to technology. The distinction between a natural pathogen and a biological weapon starts to fade. The disease seems to have breached a biological barrier which should have kept it from infecting humans in this form. The human body thus becomes another ecosystem where biotechnology and ecological change are intertwined.

This moment is significant for the theme of human fragility in the novel. The scientists have no full understanding of the pathogen, its source or how it spreads. The uncertainty of their own is part of the danger. The modern scientific systems are made to look like powerful yet incomplete ones, able to recognize genetic variations, track diseases, and provide technological solutions, but not entirely control biological systems. Indeed, the novel itself questions the trust in technological knowledge that allows people to avoid being vulnerable. Moreover, transition from agricultural disease to human disease illustrates the interdependence of ecological and human systems. When crops are destroyed, people are left without food, when people lack food, they are vulnerable, when organisms are biologically experimented, new organisms are created, and unforeseen consequences of the new organisms in the human body follow. Disease is then the common thread that links environmental degradation with biotechnology, economic power and public health.

This reading is relevant to the thesis of the current research. As the introduction to The Windup Girl makes clear, The Windup Girl is a work that posits biology as a threat arising

from the confluence of ecological disruption, technological intervention, corporate motives, and unequal access to biological resources. The epidemic imagination of the novel is therefore more than just the notion of a sudden catastrophe. Disease is already in the very fabric of everyday survival. Ultimately, Bacigalupi proposes that both the presence of pathogens and systems of biological risk management create vulnerability. New strains keep cropping up, reflecting the extent to which technology can be mastered, and inequities in the distribution of biological resources make some people more vulnerable than others. Epidemic disease is therefore a kind of literary emblem of ecological upheaval and technological uncertainty. The novel does not only question if science can conquer disease, it questions if science and technology can be part of a condition that creates new forms of biological vulnerability.

Biotechnology and Engineering of Biological Threats.

The Windup Girl complicates the connection between biotechnology and epidemic disease, however, because biological hazards aren't always described as natural phenomena. Bacigalupi's world is one where genetic engineering has become a significant component of agriculture, food production, disease resistance, and biological survival. But the very science that can help to ward off threats to the environment can create novel and unforeseen ones. Biotechnology is thus a double-edged sword in the novel: it has been used as a survival tool, but it has also led to the amplification of the instability of biological systems. This is evident in the battle between Anderson Lake and Akkarat for the seedbank of Thailand. The seedbank is what Anderson is after, as the calorie companies need new variations of the gene to meet the ever-evolving diseases. “the plagues keep mutating” (Bacigalupi 152) he explains. It is significant that the statement indicates that biotechnology has become a constant battle against biological change. Scientific institutes make an effort to alter organisms to make them immune to disease, and diseases continue to alter or change. Genetic engineering does not establish permanent control over nature, but rather an adaptation and counter-adaptation dynamic.

The seedbank thus becomes a lot more than a bunch of agricultural resources. It is a biological knowledge and genetic diversity that is vital to political survival. Akkarat says that Thailand is resilient to past epidemics because of the seedbank, which has saved Thailand from two world-wide epidemics in the past: “Blister rust and genehack weevil swept the globe” (Bacigalupi 152). The seed bank thus acts as a biological insurance policy. The person with the genetic diversity has an important resource in a world where access to food and life are based on the capacity to adapt to new diseases. The distinction between biological evolution and technological engineering has also grown increasingly fluid, according to Bacigalupi. Gibbons takes this notion to its extreme when he claims that the blister rust and genehack weevil have already adapted to the new environment. His characterization of blister rust as “our environment” (Bacigalupi 244) is particularly noteworthy. Disease is no longer just external and the target of human efforts. It has become part of the habitat in which humans have to live. Gibbons suggest that humans should undergo biological changes as well to adapt to their environment.

Gibbons's point, however, reveals the peril of considering biological life to be just a matter

of redesign. The concept of "Evolve or die" (Bacigalupi 244), which he states, is humanity's only option for survival, ignores ethical and political considerations surrounding the engineering of life. The novel asks whether technology should confer power to humans for changing other organisms, including themselves. The certainty of scientific knowledge is thus juxtaposed with the unforeseen effects of biological intervening. The most alarming case is in the investigation of the new blister rust. Ratana finds the disease has properties that indicate that it has been intentionally manipulated. "It has the feel of an engineered virus," she says, "but it's not" (Bacigalupi 217). The novel changes with the discovery. Doing so is no longer the threat of ecological instability or natural mutation, but could be related to human technological intervention.

The fact that blister rust may have now entered the animal kingdom is another example of the inability of its creators or manipulators to control biological consequences. "Blister rust has no reason to jump the animal kingdom barrier," Ratana says, "even though it has been recorded to do so." (Bacigalupi 217). The transgression of the disease's presumed biological limits is a key paradox of biotechnology in the novel. Controlled organisms can act in ways that are not predicted by humans, who try to control them based on scientific understanding. Hence, the concept of Biotechnology in The Windup Girl is not limited to just a problem or solution. It's both a lifesaving device and a new vulnerability. While the environment has already been altered and impacted by disease and climate change and ecological disturbances, there are also risks of further environmental alterations brought about by genetic engineering. Bacigalupi thus questions the notion of "more" technology equalling "more" security. Instead, the novel is a world of biology in which the technology has consequences that far outrun human control.

Corporate Control, Commodification and Biological Power.

The calorie companies have a strong economic interest in the biological crises portrayed in The Windup Girl. For Bacigalupi in the future, food is not just a human right – it is a significant economic and political influence. Companies like AgriGen have state of the art genetic technologies, patented crops and scientific knowledge, which enable them to manage significant biological resources. Therefore, the fight for resistance is coupled with the fight for ownership and profit. This connection is more evident in Anderson Lake's efforts to access Thailand's seedbank. At first, his request seems scientific as he states that AgriGen must have genetic material in order to provide new answers to continually evolving diseases. Akkarat, however, knows that there's a greater political context to the request. He sees the seedbank as the key to the country's independence in the wake of other nations' biological catastrophes (Bacigalupi 152). The seedbank is thus an expression of national sovereignty, and of agricultural diversity.

The conflict takes a turn for the worse when Anderson shares he has used much of the genetic material they have for AgriGen. "A new genetic material is needed," he says (Bacigalupi 152). The need of corporate power on biological diversity that it is not always to possess. The gene companies have built up systems of genetic manipulation but they still rely on ecosystems for access to genetic material. Bacigalupi thus exposes a paradox at the heart of the corporate biotechnology. The corporations say they are technologically superior

but they still rely on biological resources that are not in their control. The value of Thailand's seedbank is exactly because it has genetic diversity that corporate agriculture cannot easily copy. The conflict for the seed bank is thus a conflict over whose will is to prevail in the biological basis for future survival.

In the economic aspect of biotechnology, the presence of AgriGen in Thailand is also noticed. On arrival of the AgriGen representatives, their name is linked with their corporate logo and their agricultural products. The grain crates bear the AgriGen logo, showing how biological resources have been made into commodities. The food becomes therefore a natural necessity, and is passed under the control of powerful institutions as an economic product. The consequences of this commodification are serious ones as it leads to political dependency by the dependence on patented biological resources. Akkarat takes on Anderson's challenge by claiming that the calorie companies have "happily enslaved us all" with their patented grains and seeds (Bacigalupi 152). The criticism he makes has to do with the linkage of agricultural technology with economic and political domination. However, the problem is not just who's producing food, but who's controlling the biological systems to which populations rely.

The novel also shows that the corporate control is not limited to food but it is also extended to science knowledge. Anderson calls the people who use the term "infringing on our intellectual property" (Bacigalupi 152) the Gibbons. The meaning of the phrase is important because it reveals the manner in which biological knowledge is used in the logic of company ownership. Scientific findings, genetic information and biological entities can be protected, be controlled, and be economically exploited as intellectual property. Biological knowledge is made private property, resulting in an imbalance of benefits and risks. The corporations have the scientific means to control biological systems and ordinary populations are left to deal with the repercussions of ecological and epidemiological instability. Thailand's efforts to maintain its seedbank, shows that maintaining biological independence is challenging as food systems are transnationalised.

The novel is thus a link between the world of epidemic disease and a broader political economy. Biotechnology provides economic opportunities to businesses, and disease is the impetus for new technologies. Corporations then want to increase their control over genetic resources to safeguard their technological and commercial interests. This creates a vicious circle that makes the value of biological knowledge more when there is a crisis of biology; it makes the economic power of those who control the knowledge more when there is a crisis of biology. The relation is significant from the Environmental Humanities point of view because it avoids restricting the understanding of disease to a medical matter. Ownership, access, sovereignty and economic power are also issues of disease management in Bacigalupi's fictional world. Control over biological resources can be translated as political control, as has happened in the struggle over seeds. The novel subsequently reveals how vital aspects of life are being increasingly turned into the monopoly of corporations.

Human Vulnerability, Embodied Risk, and Emiko

The effects of ecological instability, biotechnology and corporate power are eventually manifest in the human body. The Windup Girl is not just a story of biological crisis because

of damaged ecosystems or failing food systems or epidemic diseases. These crises are also directly imposed on the vulnerable bodies, as in Bacigalupi. The body is the site where technological systems, economic systems, environmental demands and social discrimination are felt. Emiko is the most obvious example of this. She is genetically engineered or "windup" for a human purpose. Her body, then, is a machine designed, trained, controlled, and finally thrown away when she ceases to be useful to the purpose for which she was built. In extending the concept of biological commodification from seeds and organisms to the humanlike body itself, Bacigalupi revisits the question.

The problem is made clear in Anderson's reflection on Emiko. Emiko tells him, “My body is not mine” (p. 184). This is the main issue in the novel regarding ownership of the body. Her body has been manufactured but she has no control over how she's using it. Her life is becoming the life of a property of others. In particular it is relevant to the paper's consideration of the fragility of humans. Emiko's weakness is not due to illness. Rather, it's the result of biotechnology and social power working together. She is engineered and thus granted some biological advantages; her biological differences are also a liability to her, because she can be monitored, exploited, discriminated against and even attacked. Emiko's attempts at concealment of her genetically engineered identity have become prominent in the novel on numerous occasions. As she walks around Bangkok, she will attempt to be normal and to regulate her engineered body's movements. She fears that some might see her as “genetically transgressive” (Bacigalupi 104). The phrase shows that biological difference has been socialized. Her body is not just a difference; it's seen as a threat, as a body that doesn't fit the norms of being human.

Meanwhile, Emiko has some innate traits that prevent her from getting infected with some diseases. In the novel, Emiko is described as a very resistant host of bacterial and parasitic infection, as New People were highly resistant (Bacigalupi 104). This poses an important dilemma. Emiko's vulnerability is fueled by the same biotechnology that also offers her protection. Bacigalupi, however, does not claim biotechnology to be a purely positive or a purely negative force. Emiko's body embodies both of these things. Genetic Engineering endows her with abilities that no one else in the world has but also results in a body that society deems to be different and used. Her experience shows that freedom and security are not the same as technology modification. The connection between biological vulnerability and social vulnerability also comes through in her body. But the fact that Emiko was genetically engineered doesn't make her vulnerable. She is made vulnerable when institutions and individuals deem her engineered status as inferior. Her technological body is thus followed by her social body.

This is especially relevant for the novel if viewed in the lens of the Environmental Humanities. The impacts of environmental crisis are not experienced equally by all bodies. Likewise, technological progress does not have a uniform impact on benefits and risks. Emiko is at an end-of-the-line position because her production is literally a technical system and her exposure to the social and economic system is part of that. Emiko's relationship with the novel's epidemics crises then becomes important. The world that creates diseases, and even genetically modified crops, creates genetically modified humans as well. In the

first, biological life is an object of technology, in the second biological life is a technology to be applied to human life. Agricultural survival involves the manipulation of seeds, resistance to disease of organisms, and bodies engineered for human purposes. These various biological manipulations are set in the same grand scheme by Bacigalupi. In the novel, a crucial ethical dilemma is raised: if life can be shaped, altered, bought, and created to suit human desires, what becomes of the freedom of the living organism? Emiko's experience has shown that technology can be used as a means to control biology, and it can be used as a means to control vulnerable lives. Her body is the most visible illustration of the human price of treating the biology as a technological/economic resource. Hence, the vulnerability of human being in The Windup Girl is not only the vulnerability of the body to disease. It is also their vulnerability to knowledge and resource controlling institutions. Bacigalupi demonstrates in Emiko that the greatest threat of technological power could be the idea that living bodies can be designed and made into objects that can be controlled and exploited and then discarded.

Conclusion

In The Windup Girl, Paolo Bacigalupi's world is one in which every form of environmental degradation, epidemic disease, biotechnology, corporate power, and human vulnerability is intricately linked. The novel shows that no biological crisis is just a natural or medical issue. The diffusion and alteration of diseases is linked to technology intervention, genes manipulation, food manufacturing, and biological resources control. The problems of grime and decay are made more salient by the frequent outbreaks of blister rust, cibiscosis and genehack weevil, which threaten human survival and political security directly. The novel also challenges the notion that Biotechnology is always progress. Genetic engineering becomes a means of life-saving, and at the same time, a new type of biological risk is created and uncertainty. Natural vs. technological threats can be complicated further by the possibility of diseases being engineered. Scientific knowledge is a power in this situation - when it is under the control of powerful institutions and corporations. The conflict over genetic resources and the seedbank then becomes a conflict over sovereignty, food security and economic autonomy.

This linkage between biotechnology and power is best illustrated by the behaviour of the calorie companies. Biological resources, seeds, food, and knowledge are turned into commodities and companies gain control over the societies and populations. Environmental crisis and economic inequality are, therefore, linked by Bacigalupi; the ones who control the biological resources have the power to influence who will survive, who will be dependent, who will be vulnerable. Lastly, these large-scale systems are manifested in the human body, especially visible in Emiko. The genetic change in her body is the result of the humanization of life as a product to be designed, owned, controlled and then thrown away. She is thus biologically and socially vulnerable. E. asks an important moral question in the novel; what becomes of individual autonomy and human dignity when life is subject to scientific and economic manipulation?

Therefore, the Windup Girl finally gives its readers the sense of biological vulnerability as an outcome of the interplay of ecological instability, technological intervention, corporate

control and power imbalance. Bacigalupi is not against biotechnology, but against a technology detached from moral responsibility, a technology used to control the economy and politics. The novel thus provides a valuable Environmental Humanities analysis of current challenges and debates around epidemics, biotechnology, ecological crisis and the monetization of life. It shows us that it is not technological progress that is the real progress if at the same time it generates the inequality and makes life of human and nature more vulnerable.It reminds us that technological progress cannot be viewed as real progress when it goes hand in hand with the deepening of inequality and the loss of life of human and ecological dimensions.

References

Acharya, S. (2026). Posthumanism in *The Windup Girl*: Blurring boundaries between human and machine. *Exploration*, *4*(1), 208–221. https://doi.org/10.3126/exploration.v4i1.88739

Bacigalupi, P. (2009). *The Windup Girl*. Night Shade Books.

Buell, L. (2005). *The future of environmental criticism: Environmental crisis and literary imagination*. Blackwell Publishing.

Esposito, R. (2008). *Bios: Biopolitics and philosophy* (T. Campbell, Trans.). University of Minnesota Press.

Foucault, M. (1978). *The history of sexuality: Volume 1: An introduction* (R. Hurley, Trans.). Pantheon Books.

Hageman, A. (2012). The challenge of imagining ecological futures: Paolo Bacigalupi's *The Windup Girl*. *Science Fiction Studies*, *39*(2), 283–303. https://doi.org/10.5621/sciefictstud.39.2.0283

Haraway, D. J. (1991). A cyborg manifesto: Science, technology, and socialist-feminism in the late twentieth century. In *Simians, cyborgs, and women: The reinvention of nature* (pp. 149–181). Routledge.

Hayles, N. K. (1999). *How we became posthuman: Virtual bodies in cybernetics, literature, and informatics*. University of Chicago Press.

Idema, T. (2020). When the levees break: Global heating, watery rhetoric and complexity in Paolo Bacigalupi's *The Windup Girl*. *Green Letters: Studies in Ecocriticism*, *24*(1), 51–63. https://doi.org/10.1080/14688417.2020.1752509

Kim, J. (2019). The problematic representations of the Orient, women, and food transformations in Paolo Bacigalupi's *The Windup Girl*. *Kritika Kultura*, (33), 28–53. https://doi.org/10.13185/kk2020.03328 Cited by: 9

Lee, Y. (2019). Food transformation technology in Paolo Bacigalupi's *The Windup Girl* and what it means for us. *Kritika Kultura*, (33), 54–78. https://doi.org/10.13185/kk2020.03329 Cited by: 4

Selisker, S. (2015). Stutter-stop flash-bulb strange: GMOs and the aesthetics of scale in Paolo Bacigalupi's *The Windup Girl*. *Science Fiction Studies*, *42*(3), 500–518. https://doi.org/10.5621/sciefictstud.42.3.0500

Shiva, V. (2016). *Biopiracy: The plunder of nature and knowledge*. North Atlantic Books.

ISARC
INTERNATIONAL SCIENCE AND ART RESEARCH CENTER

EVALUATION OF MATERNAL NUTRITIONAL STATUS AND TREATMENT OUTCOMES AMONG NEONATES WITH JAUNDICE AT FEDERAL TEACHING HOSPITAL, KATSINA, NIGERIA

Fatima ABDURRAHMAN
Umar Musa Yar'adua University, Faculty of Natural and Applied Science, Department of Biochemistry, Katsina, Nigeria,
ORCİD: ID/0009-0004-9235-9041,
Prof. Ismaila Alhaji UMAR
Ahmadu Bello University, Faculty of Life Science, Department of Biochemistry, Zaria, Nigeria,
ORCİD: ID/0009-0007-4033-0222,
Dr. Ibrahim HAMZA Kankia
Dr. Aliyu IBRAHİM Yaradua
Department of Biochemistry, Umaru Musa Yar'adua University, Katsina, Nigeria

Abstract

Neonatal jaundice is a condition affecting newborns as a result of imbalance between production and excretion of bilirubin, which leads to increased bilirubin levels in the blood and discoloration of the skin and other membranes. Maternal nutritional status is an important determinant of neonatal health and may influence the occurrence, severity, and treatment outcomes of neonatal jaundice. Neonatal jaundice remains a significant contributor to neonatal morbidity and is on the increase, therefore this study aimed to evaluate the relationship between maternal nutritional status and treatment outcomes among neonates admitted with neonatal jaundice at Federal Teaching Hospital, Katsina. The study was a hospital-based cross-sectional study conducted among 172 neonates with jaundice and their mothers. Maternal nutritional status was evaluated using anthropometric indices such as height, weight and mid-upper arm circumference, and dietary patterns were obtained through a food frequency questionnaire. Treatment modalities, and outcomes were extracted from medical records. The data were analyzed using SPSS version 26.0. Descriptive statistics were presented as frequencies, percentages, and means ± standard deviation (SD), while the chi-square test was used to assess associations. Statistical significance was set at $p < 0.05$. Most mothers had normal body mass index (57.0%) and mid-upper arm circumference (84.8%). However, 65.1% of mothers had poor dietary diversity, with diets predominantly cereal-based and limited intake of animal-source foods. Phototherapy was the most used treatment (85.5%), while 20.3% required exchange blood transfusion. Treatment outcomes were generally favourable, with most neonates discharged without complications. Despite generally acceptable maternal anthropometric nutritional status, inadequate dietary diversity was common and may be a risk factor warranting further study. Based on the findings, strengthening early detection and timely management of neonatal jaundice is recommended to enhance neonatal outcomes.

Keywords: Neonatal Jaundice, Maternal Nutritional Status, Dietary Diversity, Anthropometry, Treatment Outcome.

FROM LOCAL POTENTIAL TO SHARED VALUE: GOVERNMENT–INDUSTRY COLLABORATION FOR PEMALANG HALAL CREATIVE DESTINATION

Dwi Tika Wulan SARI
Fika DEALOVA
Cahya AMELIA
Ismi Nurhanıfah
Nindi Aulıa
UIN K.H. Abdurrahman Wahid Pekalongan, Faculty of Islamic Economics and Business, Department of Sharia Economics, Pekalongan, Indonesia,
ORCİD: https://orcid.org/0009-0007-9127-9973,

Abstract
Pemalang has diverse local potential in culinary products, crafts, culture, food, and tourism that can be developed as an integrated halal creative destination. However, these potentials cannot be optimized through individual efforts alone because their development requires coordination among government, industry, micro, small, and medium enterprises (MSMEs), communities, academics, investors, and other stakeholders. This study aims to analyze the strategic role of government–industry collaboration in developing the Pemalang Halal Creative Destination and in transforming local potential into productive, inclusive, and sustainable economic value. The study employs a descriptive-analytical approach by examining the roles, forms, and potential outcomes of collaboration based on the development framework presented for Pemalang's creative economy. The analysis covers institutional support, investment, halal food industry development, value-chain integration, market access, MSME capacity building, inclusivity, and collaborative governance. The results show that government–industry collaboration can connect local resources with regulation, infrastructure, investment, technology, managerial capabilities, market networks, and business facilitation. Collaboration can strengthen halal food value chains by connecting local suppliers, MSMEs, processing industries, and tourism activities. It can also improve the quality, packaging, standardization, legal compliance, halal certification, and marketability of culinary and craft products while integrating them into tourism experiences. In addition, industry involvement can expand mentoring, market access, distribution networks, and partnerships, while government support can facilitate licensing, promotion, infrastructure, investment, and institutional strengthening. The study concludes that Pemalang Halal Creative Destination requires a shift from a government-as-provider and industry-as-beneficiary relationship toward a shared-value partnership involving MSMEs, communities, academics, and other stakeholders. Such collaboration should be supported by clear roles, measurable targets, evaluation mechanisms, and inclusive participation to ensure that investment, innovation, and industrial development strengthen local identity, economic opportunities, and community welfare sustainably.
Keywords: government–industry collaboration; creative economy; halal industry; MSMEs; tourism; Pemalang.